CANMET

RECHERCHE SUR LA MECANIQUE DES ROCHES AUX LABORATOIRES DE RECHERCHE MINIERE DU CANMET 1964-1984

Document presente a la Commission d'enquete provinciale sur le controle des terrains et les mesures d'urgence dans les mines de l'Ontario

John E. Udd et David G. Hedley

Janvier 1985

Canada

Energy, Mines and Resources Canada | Énergie, Mines et Ressources Canada

CANMET

Canada Centre for Mineral and Energy Technology | Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie

RECHERCHE SUR LA MECANIQUE DES ROCHES AUX LABORATOIRES DE RECHERCHE MINIERE DU CANMET, 1964-1984

JOHN E. UDD et DAVID G. HEDLEY

JANVIER 1985

Document présenté à la Commission d'enquête provinciale sur le contrôle des terrains et les mesures d'urgence dans les mines de l'Ontario

PROGRAMME DE RECHERCHE SUR LES MINERAUX
LABORATOIRES DE RECHERCHE MINIERE
RAPPORT DE DIVISION PRM/LRM 85-19(TR)F

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION

HISTORIQUE DES COUPS DE TOIT EN ONTARIO

HISTORIQUE DE LA RECHERCHE SUR LES COUPS DE TOIT AU CANADA

RECHERCHES DU CANMET SUR LA MÉCANIQUE DES ROCHES, 1964 - 1984

- Essai et classification des roches
- Mesures des contraintes et instruments
- Autres instruments
- Tectonique
- Modélisation
- Systèmes de soutènement
- Exploitation par chambres et piliers
- Exploitation par chambre remblayée
- Méthodes d'exploitation en masse
- Coups de toit et sismicité
- Manuels et exposés sur les techniques de pointe

TRAVAUX ACTUELS DES LABORATOIRES DE RECHERCHE MINIÈRE

ORIENTATIONS FUTURES DE LA RECHERCHE MINIÈRE AUX LRM DU CANMET

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXE A

ANNEXE B

ANNEXE C

ANNEXE D

INTRODUCTION

Le "Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie", le CANMET, a remplacé la Direction des mines du ministère fédéral de l'Énergie, des Mines et des Ressources. Il se compose présentement de cinq divisions opérationnelles et de trois divisions de service. Les Laboratoires de recherche minière, l'une des divisions opérationnelles, constituent le principal véhicule des activités de recherche du gouvernement fédéral en matière d'exploitation dans la roche dure. La recherche sur l'exploitation du charbon et la mécanique des couches relève des Laboratoires de recherche sur le charbon qui ont des installations à Sydney, Calgary et Edmonton.

À l'heure actuelle, les Laboratoires de recherche minière comprennent quatre unités opérationnelles. Trois de ces unités, le Laboratoire de la mécanique des roches, le Laboratoire canadien de recherche sur les explosifs et le Laboratoire canadien de recherche sur les atmosphères explosives, sont situés au complexe de Bell's Corners à Nepean (Ontario). La quatrième unité, le principal laboratoire de recherche sur le terrain, est située à Elliot Lake. Une nouvelle installation, dont le coût s'élève à environ cinq millions de dollars, est en voie de construction à Elliot Lake. Son ouverture est prévue pour la fin de 1985.

La mission du CANMET ne se limite pas à fournir des conseils techniques pour aider le Ministre à décider des lignes de conduite concernant les ressources non renouvelables; elle consiste aussi à effectuer de la recherche qui supporte

celle menée par l'industrie et qui sert les objectifs sociaux et économiques du gouvernement. Les divisions opérationnelles sont organisées de façon à correspondre aux secteurs principaux de l'industrie des minéraux : charbon (LRC), énergie (LRE), minéraux (LSM), exploitation minière (LRM) et métallurgie physique (LRMP).

Les objectifs des lignes de conduite sont réalisés au moyen d'évaluations techniques effectuées pour le compte du Ministère, du transfert mutuel de technologie avec l'industrie et d'aide à court et moyen termes pour atteindre des objectifs particuliers. Ce dernier moyen peut inclure la mise au point de technologies stratégiques et l'établissement d'installations nationales.

Les objectifs de recherche du CANMET sont réalisés au moyen de projets de R et D dans les trois grands domaines suivants :

(1) lignes de conduite,

(2) technologie de la protection,

(3) technologie de la productivité.

La recherche en matière de lignes de conduite n'est pas limitée aux données minières et scientifiques qu'un gouvernement est en droit d'attendre; elle comprend aussi l'information requise pour aider à l'établissement des lignes de conduite, règlements, spécifications et normes. Une grande partie des travaux de recherche effectués au Laboratoire canadien de recherche sur les explosifs et au Laboratoire canadien de recherche sur les atmosphères explosives appartiennent à ce groupe. Les travaux concernant l'évaluation des ressources utilisables pour les produits stratégiques appartiennent aussi à ce groupe. Il faut ajouter que le CANMET, en tant que principal organisme national de recherche minière, travaille en collaboration avec les corps d'inspection provinciaux et joue un rôle de chef de file dans l'élaboration de normes dans des organismes de réglementation et autres.

La recherche en matière de technologie de la protection a trait à la protection des travailleurs et à l'amélioration de leur bien-être. Au sein des Laboratoires de recherche minière, la recherche porte principalement sur la santé et la sécurité dans les activités minières ainsi que sur la protection de l'environnement. Le premier volet comprend des projets sur le contrôle des terrains, les poussières, les atmosphères explosives, les polluants émis par les systèmes d'échappement, le bruit et les instruments de surveillance (pour ne mentionner que les plus importants). Le deuxième volet comprend les travaux du Laboratoire d'Elliot Lake visant à réduire les effets des bassins à stériles et à remettre ceux-ci en état.

La recherche en matière de technologie de la productivité, qui est normalement menée à court ou à moyen terme, a les répercussions commerciales les plus immédiates. En raison de ce facteur et de la situation économique actuelle, de fortes pressions ont été exercées pour qu'une plus grande partie des efforts de recherche soit consacrée à ce domaine. Il est incontestable que les travaux des LRM ont surtout porté sur la protection, alors que dans les autres divisions du CANMET, ils ont surtout porté sur la productivité. Compte tenu des rôles particuliers des divisions en rapport avec différents secteurs de l'industrie, cette situation n'est pas considérée anormale. Il faut toutefois mentionner que l'affectation des ressources est basée sur les besoins connus et perçus, et que cette affectation donne lieu à de vives discussions.

Actuellement, on tente d'intensifier la recherche en matière de productivité aux LRM. Le matériel et les méthodes minières ont été identifiés comme secteurs principaux. Il faut cependant mentionner que les processus miniers ne peuvent pas être reproduits à l'échelle d'une usine pilote. Pour cette raison, il faudra probablement dans certains cas réaliser des projets de démonstration en grandeur réelle sur le terrain à des coûts extraordinairement élevés. Ces projets, s'ils sont réalisés, coûteront effectivement très cher, ce qui aura des répercussions importantes sur les budgets annuels.

Ainsi, il est facile d'affirmer qu'il faut effectuer plus de travaux de recherche de ce type (et cela ne fait aucun doute), mais il ne faut pas oublier que les répercussions sur la planification et les budgets sont importantes.

Dans les trois groupes de recherche, les activités vont de la prestation occasionnelle de conseils en réponse à des demandes spéciales jusqu'à la réalisation de projets à l'échelle réelle comprenant l'établissement d'installations nationales. Les deux extrêmes du spectre sont pertinents à la présente enquête, puisque les LRM, en plus d'avoir fourni à de nombreuses occasions des conseils de spécialistes en matière de contrôle des terrains, ont proposé qu'on intensifie la recherche sur les coups de toit en élaborant une approche coordonnée à l'échelle nationale.

HISTORIQUE DES COUPS DE TOIT EN ONTARIO

Les coups de toit constituent une réalité inhérente à l'exploitation minière en Ontario depuis cinquante-cinq ans. Morrison, dans son rapport classique de 1942 (1), indique que ces phénomènes se sont produits de façon intermittente depuis 1928 environ. À partir de 1934, cependant, leur fréquence accrue a suscité de l'inquiétude. Pendant la deuxième moitié de cette décennie, il y a eu en moyenne environ 10 coups de toit "violents" (déplaçant 10 tonnes de roche ou plus) par année dans chacune des régions minières de Sudbury et de Kirkland Lake. Si on tient compte des coups de toit moins importants, les fréquences moyennes dans chacune des régions sont dix fois plus grandes. Morrison a été embauché

par l'Ontario Mining Association en 1940 pour étudier ce problème grandissant. Son rapport, dans lequel il décrit sommairement certaines des situations conduisant à des coups de toit et des méthodes de contrôle, est encore applicable à bien des égards aux pratiques minières actuelles.

Les risques de coups de toit augmentent avec la profondeur et l'étendue des chantiers. Au cours des cinquante dernières années, on a exploité des gisements à de grandes profondeurs. Avec la mécanisation et les méthodes d'exploitation en masse modernes, chaque chantier (chambre) et chaque exploitation en général sont beaucoup plus grands. Ces deux facteurs se traduisent nécessairement par un plus grand risque de coups de toit. Les statistiques sur les coups de toit doivent, à bien des égards, refléter les tendances de l'activité minière dans les différents secteurs de l'industrie.

Depuis l'étude originale, par exemple, les coups de toit ont continué d'être un problème courant dans les mines de Kirkland Lake. Au cours des années 60 et par la suite, on a signalé de nombreux coups de toit, certains très importants, dans les mines de Lakeshore, Kerr-Addison, Dickenson, Campbell Red Lake et Wright-Hargreaves. Cette dernière a été fermée après un coup de toit important dans le pilier de protection du puits en 1964. Les coups de toit continuent d'être un problème dans les exploitations aurifères de Red Lake, Kirkland Lake et Larder Lake. Leur fréquence est cependant proportionnelle aux risques qu'il faut courir dans l'exploitation de l'or.

Ailleurs dans la province, les coups de toit ont été un problème dans les régions minières d'Elliot Lake et de Sudbury. Dans la région d'Elliot Lake, il y a eu plusieurs coups de toit dans les mines Stanleigh et Milliken avant que celles-ci soient fermées lors du ralentissement général de l'activité des mines d'uranium au début des années 60. C'est seulement après la reprise des activités minières entre le milieu et la fin des années 70 que les coups de toit sont redevenus un problème. Actuellement, la plupart des coups de toit se produisent dans une zone épuisée et abandonnée de la mine Quirke.

Dans la région de Sudbury, il y a eu des coups de toit plus ou moins importants dans presque toutes les mines souterraines. Les mines plus anciennes et plus profondes, comme celles de Creighton, Falconbridge, Carson et Levack, ont été particulièrement touchées. Cependant, des coups de toit se sont aussi produits dans les mines de Copper Cliff North, Stobie, Onaping et Strathcona.

HISTORIQUE DE LA RECHERCHE SUR LES COUPS DE TOIT AU CANADA

Dans le milieu universitaire canadien, la recherche sur les coups de toit a commencé avec l'arrivée de R.G.K. Morrison à l'Université McGill de Montréal en 1949. Grâce à son vif intérêt pour le domaine, un important programme de recherche sur la mécanique des roches a été mis sur pied. À l'heure actuelle, on effectue des travaux de recherche sur divers aspects de la mécanique des roches dans plusieurs universités canadiennes.

La recherche minière au CANMET (qui s'appelait alors la Direction des mines) a débuté en 1950 (2) par des travaux sur les problèmes de relaxation des contraintes dans les mines de charbon de la région du Nid-de-Corbeau, dans l'Ouest. Les premières années, elle a porté principalement sur le charbon. Cependant, du milieu à la fin des années 50, elle a été de plus en plus axée sur les mines de roche dure souterraines. Une étape importante dans l'évolution de la recherche sur les mines de roche dure a été l'ouverture du Laboratoire d'Elliot Lake (LEL) en 1964 et l'établissement du Centre de recherches minières (maintenant une division), dirigé par D.F. Coates, en 1967. Le LEL demeure le principal centre d'études sur le terrain en matière de mécanique des roches. Son importance, en matière de mécanique des roches appliquée et de recherche sur les coups de toit, grandira considérablement en raison des initiatives qui sont prises actuellement.

Il faut ajouter que tous les aspects de la recherche sur le charbon ont été intégrés au mandat d'une nouvelle division des Laboratoires de recherche sur le charbon (LRC) en 1982. Des travaux de recherche sur la mécanique des roches, applicables aux mines de charbon et dont on ne traite pas dans le présent rapport, sont présentement effectués à Calgary et à Sydney.

RECHERCHES DU CANMET SUR LA MÉCANIQUE DES ROCHES, 1964-1984

Au cours des deux dernières décennies, les Laboratoires de recherche minière du CANMET se sont consacrés à une vaste gamme d'activités relatives à la mécanique des roches, allant de la théorie aux applications et des travaux en laboratoire aux travaux dans les mines. Plus de 350 rapports de recherche ont été préparés au cours de cette période. Les titres et noms d'auteurs de ces rapports ont été classés suivant 11 catégories et sont énumérés à l'Annexe A. Ces rapports portent seulement sur la recherche effectuée dans les mines souterraines à roche dure; les autres rapports sur l'exploitation dans la roche tendre (charbon, potasse, sel) et l'exploitation à ciel ouvert sont exclus.

Les faits saillants de cette recherche, par catégorie, se résument comme suit:

a) Essai des roches et classification

Les propriétés de la roche constituent des paramètres de départ importants pour toute estimation de la stabilité et toute modélisation sur ordinateur du terrain. C'est une chance que le Laboratoire d'Elliot Lake ait été doté en 1965 d'une machine d'essai de compression d'une capacité de 2000 tonnes. Cette machine est encore la plus grosse du genre au Canada. On l'a utilisée pour faire de nombreuses études sur la relation résistance-taille dans des roches d'Elliot Lake, de Wawa, de Timmins et de Sudbury. Récemment, on a modifié la machine pour effectuer des essais de rigidité en vue d'étudier les caractéristiques des roches

après rupture. Ces études sont importantes dans la recherche sur les coups de toit.

On utilise de plus en plus les systèmes de classification des massifs rocheux pour évaluer les besoins en matière de soutènement et de stabilité des travées de chambre. La résistance de la roche et les propriétés des diaclases font partie intégrante de ces systèmes de classification. Les premiers travaux de recherche des années 60 portaient sur la résistance, la fragilité, l'élasticité et la viscosité de la roche. Des travaux de recherche plus récents ont permis d'ajouter à la base de données plus d'informations recueillies sur le terrain concernant les propriétés des diaclases ainsi que la taille et la fonction des ouvertures de mines.

b) **Mesures des contraintes et instruments**

Le CANMET a ouvert la voie à l'utilisation et à la mise au point de méthodes de mesure des contraintes dans les mines canadiennes. En 1965, on a commencé à effectuer des mesures dans les mines d'Elliot Lake en utilisant la jauge de déformation de l'United States Bureau of Mines, puis les méthodes "butoir de porte" (doorstopper) du South African Council of Scientific and Industrial Research (CSIR). Plus récemment, on a mis à l'essai la cellule de déformation triaxiale du South African CSIR et la cellule de déformation des cavités australienne. Entre temps, on a effectué de la recherche théorique sur le calcul des

contraintes et la précision des mesures. En 1984, on avait déterminé les contraintes de terrain avant exploitation dans tous les principaux camps miniers de l'Ontario, et certains du Manitoba et du Québec. Ces mesures effectuées par le CANMET ont révélé pour la première fois que, dans le Bouclier canadien, les contraintes horizontales sont toujours plus grandes que les contraintes gravitationnelles verticales. Ce résultat est d'une importance fondamentale pour l'aménagement des mines.

c) **Autres instruments**

Dans les années 60, les instruments commerciaux utilisables en mécanique des roches étaient très limités et une grande partie des instruments utilisés dans les mines étaient fabriqués dans les ateliers du CANMET. D'importants travaux de recherche ont été réalisés sur des extensomètres de trous de mines multifilaires y compris sur leur degré de précision et leurs limites. Les lignes directrices théoriques qui ont été publiées relativement à ces types d'instruments ont eu des répercussions sur les instruments commerciaux partout dans le monde. Des cellules dynamométriques simples fabriquées en vue de mesurer les charges exercées sur les boulons d'ancrage et les cadres de boisage sont encore utilisées aujourd'hui. Pour les gisements tabulaires minces, on a conçu des jauges de convergence qui sont maintenant fabriquées par les sociétés minières elles-mêmes. Tous ces instruments sont normalement caractérisés par leur simplicité, leur robustesse, leur coût peu élevé et le fait qu'il ne soit pas nécessaire de les récupérer après utilisation.

d) **Tectonique**

Dans de nombreux projets du CANMET, on a combiné les disciplines de la mécanique des roches et de la tectonique. Après avoir mesuré des contraintes horizontales élevées dans les mines, on a entrepris des levés structuraux régionaux afin d'expliquer l'historique tectonique de la région. Ces études ont commencé à Elliot Lake, mais elles ont été étendues aux régions de Wawa et de Timmins. À une échelle plus locale, on a entrepris des études de stots de surface et du toit immédiat afin d'évaluer les modes de rupture possibles.

e) **Modélisation**

Au cours des deux dernières décennies, il y a eu de grands changements dans les techniques de modélisation utilisées en mécanique des roches. Les modèles physiques, photoélastiques et mathématiques purs ont été largement remplacés par des modèles informatiques puissants. Initialement, on utilisait des modèles à éléments finis bidimensionnels pour déterminer les contraintes et les déplacements. Avec le temps, ces modèles ont ét perfectionnés de façon à
- 7 - représenter le comportement non linéaire et la disposition tridimensionelle des mines. On utilise fréquemment les modèles de discontinuité du déplacemnet pour les gisements tabulaires, et on a amélioré le programme initial en ajoutant des piliers compressibles et du remblai. Les modèles à éléments limites sont la solution élastique simple et le modèle plus complexe à plusieurs matériaux. Dans la modélisation, on s'est récemment orienté vers l'adaptation des programmes pour gros ordinateurs aux mini et aux micro-ordinateurs et vers le perfectionnement de la représentation graphique des résultats.

f) **Systèmes de soutènement**

Les premiers travaux de recherche sur le boulonnage ont été effectués dans des mines de charbon et de sel et ont conduit à la réalisation d'un premier projet de spécifications sur le soutènement des toits. On a réalisé d'autres travaux de recherche sur l'ancrage par câbles dans les mines à ciel ouvert et les mines souterraines. Les études actuelles portent sur l'évaluation détaillée de l'interaction entre la masse rocheuse et le système de soutènement et le temps de mise en place du système de soutènement.

g) **Exploitation par chambres et piliers**

La plus grande partie de la recherche dans ce domaine a été effectuée dans les mines d'uranium d'Elliot Lake. Les lignes directrices théoriques sur l'exploitation par chambres et piliers ont été formulées dans les années 70. Les contraintes dans les piliers ont été évaluées à partir de la profondeur, du taux d'extraction, des contraintes avant exploitation et du pendage du gisement. On a évalué la résistance des piliers en se basant sur la largeur, la hauteur et la résistance d'échantillons de laboratoire. Pour vérifier les lignes directrices, on a comparé des piliers stables et des piliers rompus, et on a trouvé qu'il y avait correspondance. Par la suite, on a étendu les lignes directrices à l'exploitation de veines multiples des mines d'Elliot Lake.

On a effectué une étude détaillée sur la formation des failles et les conditions du toit d'une mine. On a trouvé que les failles étaient la principale cause de modification de la disposition des exploitations par chambres et piliers et que les glissements de plans de stratification étaient la principale cause d'éboulements de toit.

En collaboration avec la Rio Algom Limited et la Denison Mines Limited, on a créé un comité sur la mécanique des roches d'Elliot Lake chargé d'étudier la stabilité régionale. La première tâche de ce comité a été de formuler des lignes directrices pour des travaux miniers sur une distance de 250 pi à partir des limites de propriété entre deux mines. Par la suite, on a fait des études sur ordinateur relatives à un projet de dépilage. En 1984, des membres du syndicat local se sont joints au comité.

- 8 - h) **Exploitation par chambre remblayée**

La recherche sur l'utilisation de remblai dans les mines a commencé par des essais de matériaux en laboratoire visant a déterminer la résistance et les caractéristiques de déformation ainsi que les taux de percolation. Ce travail a été suivi d'essais sur le terrain en vue de déterminer les propriétés in situ. La recherche actuelle porte sur l'optimisation du remblayage avec du sable et de la roche et est basée sur la distribution granulométrique de l'agrégat et la teneur en ciment. On a fait des mesures de la pression du matériau de remblayage et de la réduction des sections dans un certain nombre de mines exploitées par chambre

remblayée afin d'étudier le comportement du matériau de remblayage utilisé pour le soutènement et de déterminer dans quelle mesure il influe sur la quantité d'énergie libérée en raison de l'exploitation. On a préparé un certain nombre de documents d'étude sur l'exploitation avec remblayage et les méthodes de transport.

i) **Méthodes d'exploitation en masse**

La plus grande partie de la recherche dans ce domaine a porté sur l'abattage par trous de mine à Wawa, Timmins et Sudbury. Les études comprenaient des mesures des contraintes, des mesures de déplacement de la roche et la modélisation sur ordinateur. Au cours des dernières années, des contrats ont été accordés à des experts-conseils et des sociétés minières en vue d'approfondir cette recherche et d'effectuer des essais sur le terrain. La Golder Associates a évalué des travées de chambres stables en profondeur. La société INCO Limited a étudié les plans de tir pour une exploitation souterraine en masse. La Falconbridge Limited a conçu une méthode d'exploitation en masse pour un gisement de sa mine d'Onaping et elle procède actuellement à un essai en conditions réelles dans lequel elle utilise des systèmes de soutènement à ancrage par câbles, des techniques spéciales de forage et de tir et des dispositifs de surveillance de la stabilité de la roche.

j) Coups de toit et sismicité

Vers la fin des années 60, le CANMET a participé à un petit projet de recherche sur les coups de toit dans le camp minier de Porcupine et à Terre-Neuve. Vu la fermeture d'un grand nombre de mines sujettes à des coups de toit, la recherche a été orientée dans d'autres domaines. Dans les années 80, les coups de toit sont redevenus un problème dans de nombreuses mines du nord de l'Ontario. Les principaux coups de toit ont eu lieu à la mine Quirke d'Elliot Lake en mars 1983, puis en septembre 1984, et de décembre 1984 jusqu'à janvier 1985; à la mine Campbell Red Lake en décembre 1983; à la mine Falconbridge en juin 1984; et à la mine Creighton de l'INCO en juillet 1984. Dans tous ces cas, les scientifiques du CANMET ont soit participé à des comités techniques internationaux en vue d'étudier la cause et les mécanismes des coups de toit, soit effectué des études techniques détaillées de l'historique de cas particuliers. On a aussi examiné l'utilisation de la surveillance microsismique et des mesures de convergence.

k) Manuels et exposés sur les techniques de pointe

L'ouvrage "Rock Mechanics Principles" du regretté D.F. Coates a été le premier manuel sur la mécanique des roches utilisé à des fins d'enseignement à travers le monde. Cet ouvrage en est maintenant à sa quatrième édition, ayant été révisé en 1981, et il a été traduit en français, en espagnol et en chinois. Une publication subséquente, "Incremental Desing in Rock Mechanics", a aussi été largement diffusée.

Les scientifiques du CANMET, étant en contact avec le milieu de l'industrie minière à la grandeur du pays, sont souvent sollicités pour préparer des exposés sur les techniques de pointe qui sont présentés à des conférences nationales et internationales. Ces exposés ont notamment porté sur les applications de la mécanique des roches dans les mines canadiennes, les méthodes d'exploitation souterraine au Canada et l'exploitation par chambre remblayée au Canada.

TRAVAUX ACTUELS DES LABORATOIRES DE RECHERCHE MINIÈRE

Tel que mentionné dans l'introduction et indiqué dans l'organigramme de l'Annexe B, les Laboratoires de recherche minière sont l'une des cinq divisions de recherche du CANMET. Les LRM comprennent quatre laboratoires, dont l'un est situé à Elliot Lake et les autres à Bells Corners, à Nepean (Ontario). L'Annexe B contient également un organigramme montrant la distribution des ressources dans les laboratoires.

Deux des laboratoires, le LCRAE (Laboratoire canadien de recherche sur les atmosphères explosives) et le LCRE (Laboratoire canadien de recherche sur les explosifs), accomplissent des tâches qui appartiennent essentiellement à la catégorie de la recherche en matière de lignes de conduite et de technologie de la protection. Au LCRAE, par exemple, une grande partie du travail a trait à l'homologation de matériel utilisé dans des mines souterraines grizouteuses et à l'essai des produits. Au LCRE, une grande partie des essais porte sur la Loi canadienne sur les explosifs. Environ 40 % du personnel professionnel, technique et de soutien des LRM (30 employés environ) travaillent dans ces deux laboratoires. Bien qu'une grande partie des travaux du LCRAE et du LCRE aient trait à la santé et la sécurité dans les mines, aucune activité ne porte pour l'instant sur la mécanique des roches ou le contrôle des terrains.

Les aspects géotechniques de la mission des LRM relèvent du Laboratoire d'Elliot Lake (LEL) et du Laboratoire de la mécanique des roches (LMR) de Bell's

Corners. À l'exception du travail effectué par un groupe chargé de maintenir un inventaire national des réserves d'uranium, très peu de recherche est réalisée dans ces deux laboratoires en matière de lignes de conduite. Le travail est
- 10 - plutôt de nature appliquée et est orienté vers l'accroissement de la productivité et la protection.

Les projets en cours aux quatre laboratoires sont énumérés dans le tableau de l'Annexe C. Ces projets, qui sont reliés directement à la mécanique des roches et qui devraient par conséquent intéresser grandement le comité, sont:

1)	Exploitation de la potasse	2,15 AP
2)	Mise au point de modèles	3,4 AP
3)	Stabilité des mines et stabilité régionale	4,0 AP
4)	Caractérisation des masses rocheuses	3,2 AP
5)	Propriétés de la roche et systèmes de soutènement	2,15 AP
		14,9 AP

D'autres projets, qui sont reliés directement à la santé et la sécurité dans les mines, sont:

1)	Effets et mesures de réduction des émissions des diesels	4,5 AP
2)	Rayonnements	3,9 AP
3)	Poussière inhalable	3,2 AP
4)	Bruit et vibrations	2,3 AP
5)	Surveillance et protection de l'environnement (LCRAE)	1,0 AP
		14,9 AP

Les projets susmentionnés font intervenir environ 75 % de l'ensemble du personnel professionnel et technique du Laboratoire d'Elliot Lake et du Laboratoire de la mécanique des roches de Bell's Corners. Traditionnellement, la mécanique des roches et la santé et la sécurité ont été les secteurs les plus importants aux LRM.

Dans les projets ayant trait à la mécanique des roches, les objectifs actuels sont:

1) Exploitation de la potasse

Accroître le taux actuel d'extraction de la potasse (qui est d'environ 40 %) par des contrats de recherche sur le contrôle des terrains, l'environnement et la productivité dans le domaine de l'exploitation de la potasse au Canada.

2) Mise au point de modèles

Mettre au point des méthodes d'étude, du matériel et des méthodes d'application en vue d'une utilisation accrue de la mécanique des roches dans les secteurs de la modélisation et de l'analyse structurale des mines par:

- la mise au point de nouveaux modèles informatiques pour évaluer la stabilité des ouvertures souterraines et des structures connexes;

- le perfectionnement et l'expansion des progiciels et du matériel pour les applications minières et géotechniques;

- la réalisation d'études reliées aux applications minières et l'élaboration de lignes directrices pour la conception des ouvertures souterraines.

3) Stabilité des mines et stabilité régionale

L'objectif de ce secteur est complémentaire à celui de la mise au point de modèles. Les travaux réalisés dans le cadre de ce projet portent notamment sur la surveillance des phénomènes sismiques, la stabilité des piliers, et les contraintes et la résistance des roches. Les objectifs seront réalisés par:

- l'étude de la stabilité souterraine, y compris des coups de toit, où de fortes contraintes sont la principale cause des ruptures;

- l'étude, à l'aide d'instruments et de modèles empiriques et informatiques, d'autres types d'aménagement et de conception des mines qui permettraient de réduire les risques de ruptures.

4) Caractérisation des masses rocheuses

Ce projet est aussi complémentaire aux travaux susmentionnés et consiste en:

- l'étude de la stabilité souteraine là où la structure géologique et les forces gravitationnelles sont les principales causes de rupture et la mise au point de modèles déterministes statistiques, empiriques, en vue de prévoir les structures stables.

5) Propriétés de la roche et systèmes de soutènement

Ce travail contribue également aux principaux objectifs par :

- l'établissement, au moyen d'études théoriques et expérimentales, des exigences, méthodes, techniques et spécifications pour les essais en laboratoire et sur le terrain nécessaires à l'analyse de la stabilité et à la conception des systèmes de soutènement des mines souterraines;

- l'évaluation des limites et de l'efficacité des systèmes de soutènement actuels et projetés pour les mines profondes sujettes à des contraintes élevées;

- la réalisation d'études en laboratoire sur la mise au point de modèles de matériaux et d'autres projets.

ORIENTATIONS FUTURES DE LA RECHERCHE MINIÈRE AUX LRM DU CANMET

Depuis la création de la Direction des mines en 1907, le gouvernement fédéral a réalisé et financé des travaux de recherche et développement pour

répondre aux besoins du public, de l'industrie et du gouvernement. Le CANMET est le principal organisme de recherche minière au Canada. Les renseignements contenus dans le présent rapport, qui ont trait seulement à la recherche sur la mécanique des roches et à certains aspects de la santé et de la sécurité dans ce domaine, sont révélateurs de l'engagement profond et durable de l'organisme dans ce type d'activités.

Étant donné que c'est seulement dans les mines souterraines ou les mines à ciel ouvert qu'on peut évaluer les résultats de la recherche, les employés des Laboratoires de recherche minière entretiennent des liens étroits avec leurs pairs du milieu industriel. Au niveau de la haute direction, les activités de recherche sont guidées par des échanges avec les hauts fonctionnaires, les associations et organismes nationaux et provinciaux ainsi que le Comité consultatif national sur la recherche minière et métallurgique. À tous les niveaux auxquels les lignes de conduite et les orientations sont établies, on cherche à adapter le travail des laboratoires aux besoins nationaux.

Il faut souligner que normalement il n'appartient pas aux laboratoires de faire de la recherche "pure". Cette dernière, qui porte la plupart du temps sur les besoins éventuels à long terme, est mieux réalisée dans le milieu universitaire. Essentiellement, les Laboratoires de recherche minière jouent un peu le rôle d'un "filet de protection" pour l'industrie. Les travaux de recherche et développement devraient principalement porter sur les besoins immédiats et à moyen terme de l'industrie, auxquels cette dernière n'est pas actuellement en mesure de répondre.

Au cours des dernières années, l'exemple le plus marquant des travaux des LRM a été le Guide des mines à ciel ouvert. Cet ouvrage en plusieurs volumes, portant sur l'amélioration de la conception des mines à ciel ouvert, est le fruit d'un important projet de recherche qui a été mis sur pied vers le milieu des années 70 (par le regretté D.F. Coates, qui était alors directeur des LRM). Cet ouvrage a eu une influence considérable sur les méthodes nationales et internationales d'aménagement des mines à ciel ouvert ainsi que sur les méthodes d'exploitation. On a montré (3) que le coût total du projet, qui s'élevait à quelque cinq millions de dollars, a été compensé plusieurs fois par une efficacité accrue et des économies d'argent.

On espère pouvoir produire au cours des quelques prochaines années une série d'ouvrages similaires portant particulièrement sur les méthodes d'exploitation souterraine. Comme en fait foi le nombre considérable de visiteurs étrangers dans les mines canadiennes, nos méthodes d'exploitation souterraine sont reconnues internationalement pour leur degré de perfectionnement technologique. Il y a lieu de regrouper les connaissances canadiennes dans un ouvrage important.

En raison du problème actuel des coups de toit auquel l'industrie doit faire face, le secteur de l'exploitation souterraine est celui dont les besoins sont les plus pressants. Consciente de cette situation depuis un certain temps, la direction des LRM s'est efforcée au cours de la dernière année de favoriser la mise sur pied d'importants travaux de recherche dans le domaine. Un atelier sur les phénomènes microsismiques parrainé par le CANMET a eu lieu à Sudbury les 14 et 15 août 1984. Les actes de cet atelier (4) font l'objet d'une publication

spéciale du CANMET et seront diffusés sous peu. On prévoit que des ateliers ou des séminaires du même genre seront financés de façon régulière en vue de favoriser une diffusion plus rapide des connaissances nouvelles et le transfert de la technologie.

De plus, on projette de créer un centre national de recherche sur les coups de toit au Laboratoire d'Elliot Lake des LRM. Des discussions avec l'industrie et le gouvernement de l'Ontario se poursuivent depuis le mois de mai dernier environ. Elles ont conduit à la préparation du document "A Proposal for a Major Research Project on Rockbursts" (proposition d'un grand projet de recheche sur les coups de toit) qui est présenté à l'annexe D du présent rapport. Les LRM se proposent d'intensifier leurs efforts en matière de recherche sur les coups de toit dès que possible, lorsque certaines ressources additionnelles seront disponibles.

D'autres mesures relatives à l'accroissement des efforts de recherche minière dans ce domaine sont également prises. Conformément aux recommandations les plus récentes du Sous-comité d'exploitation minière du Comité consultatif national sur la recherche minière et métallurgique, de plus grands efforts sont consacrés à la technologie de l'exploitation minière. Au cours des deux dernières années, deux employés additionnels et un troisième employé provenant d'un autre laboratoire ont été affectés à ce domaine. Dans une petite institution de recherche gouvernementale, il s'agit là de changements d'orientation très rapides et importants. D'après les organigrammes présentés à l'Annexe B, on peut constater qu'étant donné qu'une grande partie des travaux des LRM ont trait à

l'élaboration de lignes de conduite et à la protection, les possibilités de réaffectations internes sont quelque peu limitées. Des ressources supplémentaires seront nécessaires pour intensifier les travaux dans certains secteurs, notamment la recherche sur les coups de toit.

Les Laboratoires de recherche minière du CANMET, et particulièrement le Laboratoire d'Elliot Lake, sont depuis longtemps reconnus pour les travaux qu'ils ont effectués in situ en vue de répondre aux besoins de l'industrie. Comme le montrent les listes de publications de l'Annexe A, de nombreuses études sur le terrain ont été menées au cours des vingt dernières années. Ces travaux ne pourront être intensifiés qu'après la construction des nouvelles installations du
- 14 - Laboratoire d'Elliott Lake, plus tard au cours de la présente année. Les projets réalisés au CANMET auront trait principalement à la mécanique des roches et au contrôle des terrains ainsi qu'à l'environnement minier. La mise au point d'instruments utilisés en mécanique des roches, qui a été longtemps l'une des spécialités du laboratoire, est un domaine de recherche plus intense, marqué par le renouvellement.

À l'heure actuelle, un certain nombre d'Accords de mise en valeur des minéraux (AMM), dans le cadre global des Ententes de développement économique et régional (EDER), ont été conclues entre les divers gouvernements provinciaux et le gouvernement fédéral. Du point de vue des LRM, les ententes offrent une occasion de répondre aux besoins les plus pressants de régions particulières. Pris globalement, les travaux effectués, s'ils sont bien coordonnés, peuvent concourir à une expansion importante de l'effort de recherche au niveau national.

Dans ce contexte, il faut mentionner que des études importantes sur la mécanique des roches et le contrôle des terrains sont sur le point de commencer suite à des ententes qui ont été conclues dans les provinces du Nouveau-Brunswick et du Manitoba. Dans les deux cas, les projets ont été définis après un processus de consultation entre des agents de recherche du gouvernement des juridictions politiques respectives et des représentants de l'industrie locale.

Au Nouveau-Brunswick, une somme de 400 000 $ sera consacrée, au cours des cinq prochaines années, à des études de contrôle des terrains reliées particulièrement à la nouvelle industrie de la potasse de cette province. Ces travaux feront suite à ceux que les LRM ont coordonné en Saskatchewan par l'intermédiaire du programme START (Service temporaire d'aide à la recherche et à la technologie), au cours des deux dernières années. Même si le programme START est maitenant terminé, on tente de poursuivre certains travaux dans les mines de potasse de l'Ouest et de mettre sur pied aux LRM un programme permanent de recherche relié

directement à l'exploitation de la potasse. Le programme START et les AMM offrent l'occasion de mettre sur pied des activités de recherche très spécialisées en vue de répondre à des besoins particuliers de l'industrie.

Au Manitoba, suite aux discussions relatives aux AMM, des sommes beaucoup plus élevées ont été affectées à la recherche minière. La partie des travaux que les LRM entreprendront au cours des cinq prochaines années coûtera 1,6 million de dollars. Pendant la même période, le gouvernement du Manitoba se chargera d'autres travaux de recherche dans le secteur de la technologie minière.

La plupart des études porteront sur le contrôle des terrains et la mécanique des roches. Les projets sont les suivants:

1. Gouvernement fédéral (LRM)

   a) Système de communication pour les zones isolées dans les mines, particulièrement dans les gisements composés de lentilles multiples.

   b) Lignes directrices théoriques pour l'exploitation verticale par blocs foudroyés des gisements à fort pendage.

   c) Établissement d'une base de donnés géomécaniques pour le contrôle des terrains dans l'exploitation souterraine.

d) Évaluation des méthodes de consolidation retardée du remblai.

e) Évaluation de la stabilité du terrain, particulièrement dans les gisements en échelon.

f) Optimisation des plans de tir dans les exploitations par trous de mine.

2. Gouvernement du Manitoba

a) Conception assistée par ordinateur de l'exploitation des mines souterraines.

b) Récupération de la chaleur perdue dans l'air et l'eau des mines.

c) Extraction secondaire des métaux non précieux par lixiviation sur place.

d) Stabilisation des morts-terrains.

À l'heure actuelle, des discussions relatives à des Accords de mise en valeur des minéraux ont lieu dans d'autres provinces, y compris l'Ontario. Des discussions avec des représentants de l'industrie ont permis d'identifier les secteurs de recherche prioritaires. Un projet important de recherche sur les coups de toit a été proposé (voir annexe) lors d'une réunion tenue à l'hôtel Northbay de Sudbury le mercredi 9 mai 1984. Les LRM espèrent recevoir l'autorisation d'étendre leurs travaux actuels dès que possible.

BIBLIOGRAPHIE

1. Morrison, R.G.K. "Report on the rockburst situation in Ontario mines"; Transactions CIMM; vol XLV, p. 225-272; 1942.

2. Ignatieff, A. "Un Centre canadien de recherche"; Centre d'édition du gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), ISBN 0-660-90958-8; p. 120; 1981.

3. Mackenzie, R.W. et Pakalnis, R. "Mineral Technology Transfer: Evaluation of the CANMET pit slope project"; Centre for Resource Studies, Université Queen, Kingston (Ontario); mars 1983.

4. "Proceedings of a CANMET-sponsored microseismic workshop"; Sudbury (Ontario); août 1984 (sous presse).

ANNEXE A

BIBLIOGRAPHIE

APPENDIX A

(a) Rock Testing and Classification

1. Ladanyi, B. "Uniaxial testing of rocks for classification purposes"; FMP 64/141-MRL.

2. Parsons, R.C. "Uniaxial compression tests for Black Hawk Mining Limited"; FMP 64/166-MRL.

3. Larocque, G.E. "Determination of the dynamic tensile strength of a series of magnetite specimens from Carol Lake, Labrador"; FMP 65/9-MRL.

4. Parsons, R.C. and Sullivan, J.D. "Uniaxial study results of Nordic quartzite and conglomerate"; FMP 65/28-MRL.

5. Parsons, R.C. "Petrology and deformational behaviour of the Director Mine rock types"; FMP 65/55-MRL

6. Barron, K. "Loading tests on the Wabana model report No. 11, Final Report"; FMP 65/108-MRL

7. Parsons, R.C. and Sullivan, J.D. "Moduli determination for the Elliot Lake stress relief over-coring work"; FMP 65/137-MRL

8. Coates, D.F. and Gyenge, M. "Plate load testing on rock for deformation and strength properties"; ASTM Rock Mech Symp, Seattle, Dec 1965.

9. Coates, D.F., Parsons, R.C. "Experimental criteria for classification of rock substances"; Int J Rock Mech & Min Sci Vol 3, 1966.

10. Parsons R.C. and Hedley, D.G.F. "The analysis of the viscous property of rocks for classification"; Int J Rock Mech & Min Sci, Mar 1966.

11. van Heerden, W.L. "Loading tests on core discs obtained from in situ stress relieving tests"; FMP 66/119-MRL.

12. Parsons, R.C. "Triaxial test results on Carol Lake Ore"; FMP 66/129-MRL.

13. Zahary, G. "Modulus of rigidity from pressuremeter tests"; May 1967; MRC IR 67/11.

14. Yu, Y.S. "Diametrical Compression tests for the Elliot Lake strain-relief overcoring work"; May 1967; MRC IR 67/13.

15. Parsons, R.C. "Testing the size-effect on strength of the Elliot Lake quartzite"; MRC IR 68/46-ID.

16. Hedley, D.G.F., Herget, G. "Preliminary rock mechanics investigations at Gaspé Copper Mines Ltd"; MRC IR 68/72-ID.

17. Kostak, B. "Size effect in Elliot Lake quartzite"; MRC IR 68/89-LD.

18. McRae, A. "Rock tests in conglomerate, Elliot Lake, Ontario"; MRC IR 69/35-ID.

19. Kostak, B. "Strength distribution in Elliot Lake quartzite"; MRC IR 69/114-ID.

20. Cruden, D.M. "A Theory of the static fatigue of rock under uniaxial compression"; MRC IR 69/123-ID.

21. Cruden, D.M. "The recovery of pennant sandstone from a uniaxial compressive load"; MRC IR 70/11-ID.

22. Herget, G. "Shear strength of some chlorite coated shear planes and some extension fractures in the siderite orebody at G.W. MacLead Mine"; MRC IR 70/24-ID.

23. Coates, D.F. "Report of the general reporter for theme I intrinsic properties of rock masses"; MRC IR 70/50-LD.

24. Zorychta, H. "Mechanical rock breakage in situ progress report no. 1"; MRC MR 70/66-ID.

25. Barron, K. "Brittle fracture and ultimate failure of rocks, Part I. isotropic rocks. IJRMMS 8 6, 541-51, November 1971"; MRC MR 70/67-ID.

26. Paulmann, H.G. "Strength anisotropy of rocks, investigation of rock of the "Ruhr-Karbon"; MRC IR 70/76.
(Translation of headings, figure captions and definition of symbols in equations by G. Herget)

27. Barron, K. "Brittle fracture initiation in and ultimate failure of rocks Part II: Anistropic rocks - theory"; MRC IR 70/86-LD.
(For publication in International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 553-563).

28. Barron, K. "Brittle fracture initiation in and ultimate failure of rocks Part III. Anisotropic rocks - experimental results"; MRC IR 70/87-LD.
(Int J Rock Mechanics and Mining Sciences 565-575).

29. Herget, G. "Determination of elastic strain recovery in five inch diameter drill core subsequent to coring"; MRC IR 70/92-ID.

30. Sage, R. "Survey of physical mineralogical characteristics of underground mines in Canada"; MRC IR 72/10.

31. Herget, G. "A cylindrical pressure vessel for testing 10 in. diameter specimen under a confining stress of up to 6000 psi"; MRC IR 72/24.

32. Herget, G. "Rock properties"; MRC IR 73/44.

33. Herget, G. Unrug, K., Capozio, N. "Shear strength and failure strains of geological and artificial fractures in siderite under triaxial conditions"; MRC IR 73/61.

34. Sage, R., Coates, D.F. "Survey of physical mineralogical characteristics of underground mines in Canada"; MRC IR 73/67. (Mines Branch IC 306 13/VIII/1973).

35. Everell, M.D., Herget, G., Sage, R., Coates, D.F. "Supplementary report to theme 1 mechanical properties of rocks and rock masses"; MRC IR 73/102.

36. Herget, G., Miles, P. "Triaxial shear tests on joints and sawcuts in Rock samples from an iron ore open pit"; MRC IR 73/131.

37. Gyenge, M., Coates, D.F. "Suggested method on field deformability determination using plate test (surficial loading)"; MRC IR 74/17. (ISRM Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests).

38. Miles, P., Herget, G. "Shear resistance of geological fractures in weathered and fresh rock"; MRC IR 74/137.

39. Zahary, G., Lee, H. "Mechanical properties of a Gaspé rock"; MRP/MRL 75-16.

40. Herget, G., Unrug, K. "Strength of mine pillars from laboratory tests"; MRP/MRL 75-40.

41. Miles, P., Herget, G. "Uniaxial compressive strength from point loadtests"; MRP/MRL 75-46.

42. De Korompay, V. "Effect of blasting on rock fissuration"; MRP/MRL 75-54.

43. Miles, P. "Standard triaxial compression tests on WN1 granite core specimens"; MRP/MRL 79-18(TR).

44. Herget, G., Miles, P. "Shear strength of geological discontinuities with material bridges"; MRP/MRL 79-76(J).

45. Larocque, G. "Methodology overview - rock mechanics rock properties"; MRP/MRL 81-144(OP).

46. Gyenge, M., Gorski, B., Shimotani, T. "Strength determination of rocks at Copper Cliff South Mine"; MRP/MRL 82-8(TR).

47. Gyenge, M. "Laboratory test for post-failure strength properties of rocks"; MRP/MRL 82-33(TR).

48. Molson, J. "Development of a Uniaxial stiff testing procedure"; MRP/MRL 82-38(TR).

49. Gorski, B. "The design and operation of a stiff triaxial assembly for post failure rock property testing"; MRP/MRL 82-81(TR).

50. Molson, J. "Stiff triaxial tests on Copper Cliff South Mine orebody rock"; MRP/MRL 82-141(INT).

51. Swan, G. "Some results from controlled testing by stiffening element in the 18MN press"; MRP/MRL 83-5(TR).

52. Swan, G., Zonggi, S. "Prediction of shear behaviour of joints using profiles"; MRP/MRL 84-58(J).
(to be submitted for publication in Rock Mechanics & Rock Engineering).

53. Swan, G., Vaillancourt G., Tirrul, L. "Shear resistance of Selbaie Mine joints"; MRP/MRL 84-96(TR).

54. Udd, J.E., Wang, H. "A comparison of some approaches to the classification of rock masses for geotechnical purposes"; MRP/MRL 84-97(TR).

(b) Stress Measurements and Instrumentation

1. Barron, K. "Glass insert stressmeters"; FMP 64/123-MRL.

2. Grant, F., Coates, D.F. "Field trials during 1963 on the USBM borehole deformation meter"; FMP 64/125-MRL.

3. Barron, K., May, A.N. and Cross, H.E. "The Mines Branch stressmeter"; FMP 65/172-MRL.

4. Yu, Y. "Rock mechanics investigations at MacLeod Mines, 1965. (A preliminary analysis for stress-relief measurements)"; FMP 65/181-MRL.

5. van Heerden, W.L., Szombathy, C., St. Louis, A.V. "A new strain cell installing tool"; FMP 66/37-MRL.

6. Grant, F. "In situ strain measurements with encapsulated 45° Rosette strain gauges, 14 west extension drift, Nordic Mine, Elliot Lake, Ontario"; FMP 66/62-MRL.

7. van Heerden, W.L. "The effect of stress concentrations around boreholes on measurements of absolute stress in rock"; FMP 66/68-MRL.

8. van Heerden, W.L., Grant, F. "A comparison of two methods for measuring stress in rock"; FMP 66/112-MRL.

9. Zahary, G. "An interpretation of field stress measurements"; FMP 66/193-MRL.

10. Grant, F. "Stress Measurements at Elliot Lake - In situ measurements in stope pillars using encapsulated 45° Rosette strain cells. October 1966"; MRC IR 67/9.

11. Udd, J.E. "Stress Measurements in 1109 Pillar, Nordic Mine, Elliot Lake, Ontario, (Aug. 1967)"; MRC IR 67/48.

12. Zahary, G. "Stress measurements Kerr-Addison Gold Mines"; MRC IR 67/51-MRL.

13. Udd, J.E., Grant, F. "Measurements of stresses in the abutment zones, Nordic Mine, Rio Algom Mines Limited"; MRC IR 67/52.

14. Gray, W.M., Toews, N.A. "Analysis of accuracy in the determination of the ground stress tensor by means of borehole devices"; MRC IR 67/28.

15. Grant, F. "Pillar stress measurements in situ with the USBM borehole deformation meter in the Rio Algom Nordic Mine at Elliot Lake"; MRC IR 67/35.

16. Udd, J.E. "Preliminary calculations of stresses in the abutment zones, Nordic Mine, Elliot Lake, Ontario"; MRC IR 68/35-ID.

17. Grant, F. "Field stress measurements with encapsulated Rosette strain gauge technique at Rio Algom Nordic Mine, Elliot Lake, Ontario"; MRC IR 68/49-ID.

18. Zahary, G. "Temperature stability of strain cells"; MRC IR 68/50-ID.

19. Grant, F., St. Onge, J. "The technique used at the Nordic Mine to measure in situ stress with the use of the encapsulated Rosette strain gauges"; MRC IR 68/52-ID.

20. Barron, K. "In situ stress measurement"; MRC IR 68/119-LD.

21. Gray, W.M. "Analysis of data from stress-measurement program at McLeod Mine, Algoma Ore Properties, Wawa, Ontario"; MRC IR 69/11-ID.

22. Gray, W.M. "Analysis of data from stress-measurement program at Falconbridge Nickel Mines Limited, Falconbridge, Ontario. 6050 Level Overcoring - 1968"; MRC IR 69/12-LD.

23. Gray, W.M., Barron, K. "Stress determination from strain relief measurements on the ends of boreholes; planning, data evaluation and error assessment"; MRC IR 69/23-LD (RS 110).

24. Gray, W.M. "Analysis of Data from stress-Measurement Program at Falconbridge Nickel Mines Limited. II-Mean Values and Standard Errors of Calibration Constants from laboratory measurements"; MRC IR 69/106-ID.

25. Millar, W.J.R., Bielenstein, H.U. "Field measurements for elastic-strain-recovery measurements using CSIR strain cells"; MRC IR 70/41-ID.

26. Udd, J.E. "Two interpretations of strain relief measurements in a uranium mine"; MRC IR 70/81-ID.

27. Herget, G. "Determination of three ground stress tensors at the G.W. MacLeod Mine, Wawa"; MRC IR 70/118-ID.

28. Bielenstein, H.U., Barron, K. "In situ stresses"; MRC IR 71/22-ID. (Publ Proc 4th CSR&T and 7th CSRM).

29. Yu, Y.S., Gray, W.M. "Strain equations for the CSIR triaxial strain cell. (September 29, 1971)"; MRC IR 71/41-ID.

30. Herget, G., Hedley, D.G.F. "Rock mechanics instrumentation Part III: stress determinations with overcoring techniques"; MRC IR 71/79-ID.

31. Gray, W.M., Toews, N.A. "Optimization of the design and use of the CSIR triaxial strain cell for stress determination"; MRC IR 71/94. (Published ASTM p 116-134; Field Testing and Instrumentation of Rock STP 554 May 1974).

32. Herget, G. "Variation of rock stresses with depth at a Canadian iron mine"; MRC MR 71/96. (For Publication IJRM & MS 1972, Vol 10; No.1, 37-51. Jan. 1973).

33. Tan, B.K. "An interpretation of field stresses adjacent to selected Canadian mines"; MRC IR 71/107.

34. Herget, G. "First experiences with the CSIR triaxial strain cell for stress determinations": MRC IR 72/58. (Published INT JRMMS,Vol 10, No.6, 509-522, November 1973).

35. Herget, G. "Stress tensor determinations in a bedded lead-zinc orebody"; MRC IR 73/45.

36. Herget, G. "Ground stress determinations in Canada"; MRC IR 73/128.

37. Gray, W.M. "Calibration of triaxial strain cell for stress determination; application to data from the Sullivan Mine"; MRC IR 74/114.

38. Herget, G. "Stress determinations in the Sudbury area"; MRP/MRL 75-22.

39. Herget, G., Oliver, P. "Groundstresses below 3000 Feet"; MRP/MRL 75-56(J).

40. Herget, G. "Field testing of modified triaxial strain cell equipment at Timmins, Ontario"; MRP/MRL 77-2.

41. Miles, P., Herget, G. "Stress determinations at Creighton Mine, Sudbury district, Ontario"; MRP/MRL 77-81(TR).

42 Herget, G., Miles, P., Zawadski, W. "Equipment and procedures to determine the in situ stress field in one drill hole"; MRP/MRL 78-10(TR).

43. Herget, G., Miles, P. "Stress determinations of the heater test site, Copper Cliff, Ontario"; MRP/MRL 78-53(TR).

44. Muir, B. Ambient Temperature calibration of 24 IRAD stressmeters; MRP/MRL 79-106(TR).

45. Herget, G. "Regional stress in the Canadian Shield"; MRP/MRL 80-8(TR).

46. Herget, G. "Regional stresses in the Canadian Shield - a summary"; MRP/MRL 80-55(OP).

47. Herget, G., Zawadski, W. "Improvements to groundstress determinations Part 1: laboratory tests"; MRP/MRL 81-17(TR).

48. Herget, G., Oliver, P. "Pillar stress determinations at Copper Cliff South Mine"; MRP/MRL 82-4(TR).

49. Herget, G. "Change of maximum & minimum horizontal stress components with depth"; MRP/MRL 83-94(INT).

50. Arjang, B. "Field stress determinations at Selbaie Mine, Québec"; MRP/MRL 84-55(TR).

51. Herget, G. "Load assumptions for underground excavations in the Canadian Shield"; MRP/MRL 84-82(J).

52. Arjang, B. "Stress determinations at Stanleigh Mine, Elliot Lake, Ontario"; MRP/MRL 84-119(TR).

(c) Other Instrumentation

1. Larocque, G. "A sonic system for the determination of in situ dynamic properties and for the outlining of Fracture Zones"; (6th US Rock Mech Sym, Rolla Oct 1964).

2. Barron, K. and Cross, H.E. "Some experiments on the creep of photoelastic coatings"; FMP 65/6-MRL.

3. van Heerden, W.L. "A compressometer using differential transformers"; FMP 65/175-MRL.

4. Hedley, D.G.F., Yu, Y.S. and St. Louis, A. "A multi-wire extensometer for axial deformation measurement in long boreholes"; FMP 65/178-MRL.

5. Hedley, D.G.F. "An optical method of measuring the vertical deformation of a pillar"; FMP 66/35-MRL.

6. Hedley, D.G.F., Yu, Y.S., Montone, H.B. "Laboratory calibration of an electrical extensometer"; FMP 66/89-MRL.

7. Yu, Y.S. "Sonic measurements at Nordic Mine, Rio Algom Mines Limited, Elliot Lake, Ontario"; FMP 66/189-MRL.

8. Vanderzee, T.J. "Evaluation of the borehole penetrometer for estimating rock strength"; FMP 66/191-MRL.

9. Hedley, D.G.F. "Laboratory calibration of an electrical-mechanical multi-wire extensometer"; MRC IR 67/12-MRL.

10. Sinclair, B.J. "Sonic velocity and attenuation measurements at Nordic Mines, Elliot Lake, Ontario"; MRC IR 67/53-MRL.

11 Hedley, D.G.F., Zawadski, W. "Laboratory testing of the USBM explosive anchor"; MRC IR 67/56-MRL.

12. Hedley, D.G.F. "Laboratory calibration of the terrametrics Model F-2 extensometer"; MRC IR 68/31-ID.

13. Kostak, B. "A new device for in situ movement detection and measurement"; MRC IR 68/37-ID.

14. Korczynski, P. "Shear strip tests"; MRC IR 68/83-LD.

15. Hedley, D.G.F. "Design criteria for multi-wire borehole extensometer systems"; MRC IR 69/68-ID.
(CIM p 100 for Proceedings Notice; July, 1971).

16. McRae, A. "Horizontal tape extensometer"; MRC IR 69/109-ID.

17. Barron K., Hedley, D.G.F. "Rock mechanics instrumentation - Part IV: rock bolt load cells"; MRC IR 71/80-ID.

18. Larocque, G.E., Kapeller, F., Coates, D.F. "Seismic and bore hole photographic measure"; MRC IR 72/76.

19. Herget, G., Unrug, K. "Instrumentation to determine the influence of roughness on the shear resistance of fracture planes in rock"; MRC MR 72/95.

20. Larocque, G.E., Kapeller, F., Coates, D.F. "Refraction seismic measurements and borehole observations in an open pit"; MRC IR 72/111.

21. Herget, G., Unrug, K. "Four-point borehole strain meter"; MRC IR 72/154.

22. Kapeller, F., Larocque, G.E. "A rock bolt dynamometer system using continuous vibrating wires"; MRC IR 73/36.

23. Larocque, G., Kapeller, F. "A borehole camera"; MRC IR 73/46.

24. Hedley, D.G.F. "Notes on rock movement measured with borehole extensometers"; MRC IR 73/151.

25. Miles, P., Herget, G. "Penetrometer tests in drill holes"; MRC IR 74/43.

26. Hedley, D.G.F. "Mining research at the Kidd Creek Mine, Timmins Part 5: Open Pit and Underground deformation measurements"; MRP/MRL 76-67(TR).

27. Muir, B. "Ambient temperature calibration of 24 IRAD stressmeters"; MRP/MRL 79-106(TR).

28. deKorompay, V. "A vacuum hole monitoring system to detect fractures in mine roof"; MRP/MRL 80-87(TR).

29. Herget, G. "The ST-6 borehole TV system"; MRP/MRL 81-122(TR).

30. Herget, G. "Borehole dilatometer for backfill studies"; MRP/MRL 82-2(TR).

31. Gorksi, B. "The design & operation of a parallel stiff compression apparatus"; MRP/MRL 84-36(TR).

32. Gorski, B. "A multi-shear apparatus"; MRP/MRL 84-44(TR).

(d) Structural Geology

1. Bain, I. "The geological structure and probable rock stress environment in the Quirke syncline and particularly in the Algom Nordic Mine test area, Elliot Lake, Ontario"; FMP 65/106-MRL.

2. Parsons, R.C. "Determination of preferred planes of weakness in geological materials Part I"; FMP 66/122-MRL.

3. Everell, M.D., Parsons, R.C. "Determination of preferred planes of weakness in geological materials Part II"; FMP 66/152-MRL.

4. Parsons, R.C., Cook, S. "Photo electric scanner for the counting of discontinuities on rock surfaces"; MRC IR 67/69.

5. Parsons, R.C. "Fracture systems in the host granites at Newfoundland Fluorspar operations"; MRC IR 67/70.

6. Udd, J.E. "A study of fracture patterns at the Nordic Mine, Elliot Lake, Ontario"; MRC IR 68/36-ID.

7. Herget, G. "Structural investigations of 167 and 228 pillars at McLeod Mine, Algoma Ore Properties, Wawa"; MRC IR 68/74-ID.

8. Eisbacher, G.H., Bielenstein H.U. "The Flack Lake depression (41 J/10)"; MRC IR 69/18-ID.

9. Eisbacher, G., Bielenstein, H.U. "Tectonic interpretation of elastic strain recovery measurements at Elliot Lake"; MRC IR 69/32-ID.

10. Coates, D.F. "Geological structural effects in rock mechanics"; MRC IR 69/44-ID.

11. Herget, G. "Determination of the pre-mining stress field at George W. MacLeod Mine, Wawa, based on structural investigations and stress measurements. (Progress report)"; MRC IR 69/46-ID.

12. Eisbacher, G.H., Bielenstein H.U. "Interpretation of elastic-strain-recovery measurements near Elliot Lake, Ontario"; MRC IR 69/50-ID.

13. Bielenstein, H.U., Eisbacher, G.H. "In situ stress determinations and tectonic fabric at Elliot Lake, Ontario"; MRC IR 70/34-ID.

14. Eisbacher, G.H., Bielenstein, H.U. "Elastic-strain-recovery in proterozoic rocks near Elliot Lake, Ontario"; MRC IR 70/35-ID.

15. Herget, G. "Surveys of geologic discontinuities in connection with the mechanical behaviour of rock masses"; MRC IR 70/38-ID.

16. Herget, G. "The pre-mining stress field of the George W. MacLeod Mine, based on tectonic analysis"; MRC IR 70/43-ID.

17. Bielenstein, H.U. "Deformation of a single thrust sheet: an analysis of the mesoscopic fabric"; MRC IR 71/40-ID.

18. Herget, G. "Tectonic fabric and current stress field at an iron mine in the Lake Superior region"; MRC IR 71/83-ID.
(Published Proc 24 Int Geol Congr Montreal. Section 13, p. 241-248).

19. Herget, G., Miles, P. "Mining research at the Kidd Creek Mine, Timmins; Part I: Geotechnical investigations"; MRC IR 74/33.

20. Herget, G. "Rock mass classification at Copper Cliff South Mine"; MRP/MRL 81/137(TR).

21. Arjang, B. "Geological structure at Stanleigh Mine in Elliot Lake - Progress Report"; MRP/MRL 83-22(TR).

22. Arjang, B. "Geological structure and hanging wall stability at New Quirke Mine in Elliot Lake - Progress Report"; MRP/MRL 83-23(TR).

23. Arjang, B. "Geological structure around the crown pillar at Selbaie Mine, Québec"; MRP/MRL 83-92(TR).

24. Arjang, B. "Rock mass characterization around the crown pillar at Selbaie Mine, Québec"; MRP/MRL 84-53(TR).

(e) Modelling (Mathematical, Physical, Computer)

1. Gyenge, M. "Development of low-modulus photoelastic model material, mirelite"; FMP 66/103-MRL.

2. Barron, K. "Computer program for theoretical analysis of stresses in a hollow cylindrical inclusion"; MRC IR 67/44.

3. Coates, D.F. "A computer program for checking input coordinates by plotting"; MRC IR 67/30.

4. Waranica, K., Coates, D.F. "A computer program for simulating the stress distribution around irregular mining openings in non-homogeneous ground subjected to gravitational and tectonic forces"; MRC IR 67/36.

5. Gyenge, M. "A computer program for calculating principal stresses in photoelasticity"; MRC IR 67/37.

6. Coates, D.F. "A computer program for calculating biaxial stresses from borehole strain cells"; MRC IR 67/52.

7. Yu, Y.S., Coates, D.F. "The testing of a finite element computer program for stress analysis"; MRC IR 68/2-LD.

8. Gyenge, M. "Development of photoelastic technique to solve gravitational stress distribution problems"; MRC IR 68/8-ID.

9. Kostak, B. "Models of block systems"; MRC IR 68/12-ID.

10. Yu, Y.S. "A modified computer program for checking input data by plotting for the finite element method of stress analysis"; MRC IR 68/15-LD

11. Coates, D.F. "Appraisal of modeling in the pillar loading project"; MRC IR 68/32-LD.

12. Kostak, B. "Preliminary model pillar testing"; MRC IR 68/38-ID.

13. Yu, Y.S., Coates, D. "Computer programmes for plotting principal stresses and displacements"; MRC IR 68/54-ID.

14. Gyenge, M., Coates, D.F. "A photoelastic trial to obtain stress concentration in pillars of a shallow underground opening"; MRC IR 68/59-LD.

15. Coates, D.F. "Deformation of pillars in inclined workings"; MRC IR 68/64-LD.

16. Barron, K. "Fracture initiation in and ultimate failure of brittle rocks Part I: Isotropic Rocks"; MRC IR 68/75-LD.

17. Yu, Y.S., Coates, D.F. "Development and use of computer programs for finite element analysis"; MRC IR 68/98-LD.

18. Coates, D.F. "Deformations and stresses in the roofs of broad stopes"; MRC IR 68/105-ID.

19. Barron, K. "The fracture of brittle rocks around mine excavations"; MRC IR 69/25-LD.

20. Coates, D.F. "The finite element method in rock mechanics"; MRC IR 69/54-ID.

21 Coates, D.F., Yu, Y.S. "Three-dimensional stress distributions around a cylindrical hole and anchor"; MRC IR 69/57-LD.

22. Kostak, B. "Photoelastic investigation of pillar models"; MRC IR 69/83-ID.

23. Barron, K. "Criteria for brittle fracture initiation in and ultimate failure of rocks and their application to fracture zone prediction"; MRC IR 69/98-LD.

24. Gray, W.M. "A Note on the calculation of the variance of a general function of several variables: accuracy of principal directions computed from strained-relief data"; MRC IR 69/104-LD.

25. Coates, D.F., Yu, Y.S. "A note on the stress concentrations at the end of a cylindrical hole"; MRC IR 69/122-LD.

26. Coates, D.F., Yu, Y.S. "Deformations and stresses in the roofs of broad, multi-reef stopes"; MRC IR 70/4-LD.

27. Toews, N.A., Yu, Y.S. "Documentation of a computer program for automatic mesh generation for the 2-D finite element program WILAX"; MRC IR 72/144.

28. Yu, Y.S., Toews, N., Hassan, G.A. "NAOS - Documentation of a computer program for finite element analysis of axisymmetric solids with arbitrary loadings"; MRC IR 72/152.

29. Gray, W.M., Toews, N.A. "Analysis of variance applied to data from overcoring tests for stress determination at the Sullivan Mine"; MRC IR 73/87.

30. Gray, W.M., Toews, N.A. "Analysis of variance applied to data obtained by means of a six-element Borehole deformation gauge for stress determination"; MRC IR 73/103.

31. Gray, W.M. "Models for analysing data from triaxial tests for shear resistance along fractures"; MRC IR 74/46.

32. Yu, Y.S. "Mining research at Kidd Creek Mine Part II: Finite element modelling"; MRC IR 74/58.

33. Yu, Y.S. "Mining research at Kidd Creek Mine, Timmins Part III: The effect of the removal of the crown pillar on the stress re-distribution in the pit walls"; MRC IR 74/91.

34. Morrison, H.D. "Documentation of a computer plotting program for interpreting results of the finite element"; MRC IR 74/100.

35. Toews, N.A., Yu, Y.S. "SAP2D Documentation 2-D linear and elastic finite element computer system"; MRC IR 74/138.

36. Sage, R. "A research proposal for development of computer aided design techniques for underground mining Canada"; MRC IR 74/147.

37. Toews, N.A., Yu, Y.S., Granz, R. "Documentation of GEN3D (A 3-D mesh generating program for SAP3D)"; MRP/MRL 75-89

38. Yu, Y.S. "Mining research at the Kidd Creek Mine, Timmins - Part IV; The effect of residual tectonic stresses on stability of the excavations"; MRP/MRL 75-99

39. Toews, N.A., Yu, Y.S. "SAP2D Documentation (1975 Version) - 2-D linear elastic finite element computer system"; MRP/MRL 75-109(TR)

40. Toews, N.A., Yu, Y.S. "Stress and displacement errors introduced by truncating large massive structures - Part I - Cylindrical opening under uniform loading"; MRP/MRL 75-116(TR)

41. Yu, Y.S. "Finite element modelling at Kidd Creek Mine, Timmins, Ontario"; MRP/MRL 76-70(OP)

42. Toews, N.A., Wong, A.S. "Documentation of calcomp compatible printer plot routines"; MRP/MRL 77-129.

43. Yu, Y.S., Toews, N.A. "EPFE Documentation (1977) - A two-dimensional elastic-plastic finite element stress analysis computer system"; MRP/MRL 77-144.

44. Toews, N.A., Wong, A.S., Yu, Y.S. "BIT 3D Boundary integral three-dimensional elastostatic solver"; MRP/MRL 78-67(TR).

45. Yu, Y.S. "A summary of finite element stress analysis for the Kidd Creek Mine, Timmins, Ontario"; MRP/MRL 78-92(TR).

46. Toews, N., Wong, A.S., Rebstock, J., Yu, Y.S. "PRSPLT documentation"; MRP/MRL 79-82(TR).

47. Yu, Y.S., Toews, N.A. "Three-dimensional stress distribution in a pillar for a typical room-and-pillar system of mining"; MRP/MRL 79-102(TR).

48. Yu, Y.S., Toews, N.A. "DRUKGEN and DRUKSTA - Documentation of interfaced programs for the nonlinear finite element program DRUKPRA"; MRP/MRL 80-96(TR).

49. Yu, Y.S., Toews, N.A. "Implementation of a compressible pillar model with a MINTAB program"; MRP/MRL 80-98(TR).

50. Yu, Y.S., Toews, N.A., Wong, A.S. "Stress/displacement calculation with the MINTAB program; MRP/MRL 81-34(TR).

51. Yu, Y.S., Toews, N.A., Wong, A.S. "Implementation of backfill with the MINTAB program"; MRP/MRL 81-62(TR).

52. Yu, Y.S., Toews, N.A. "CNTPLT documentation - A post-processor for interpreting MINTAB (Version 1.0, 1981) results"; MRP/MRL 81-130(TR).

53. Gangal, M.K. "Boundary element program for stress analysis around underground excavations"; MRP/MRL 83-8(TR).

54. Yu. Y.S., Toews, N.A., Wong, A.S. "Mintab user's guide - A mining simulator for determining the elastic response of strata surrounding tabular mining excavations (ASCII 77 Version 4.0, 1982)"; MRP/MRL 83-25(TR).

55. Toews, N.A., Yu, Y.S., Wong, A.S. "Documentation of computer program digitize (to store digitizer data on the VAX)"; MRP/MRL 83-81(INT).

56. Toews, N.A., Wong, A.S., Yu, Y.S. "DATAPLOT update"; MRP/MRL 83-83(INT).

57. Vongpaisal, S., Toews, N.A., Yu, Y.S. "Prediction of pillar load - Phase I - Underground service/garage stations"; MRP/MRL 84-45(TR).

58. Toews, N.A., Yu, Y.S., Vongpaisal, S., Wong, A.S. "Documentation of DRUKPLT (VAX/VMS Version)"; MRP/MRL 84-81(INT).

(f) Support Systems

1. St. Louis, A.V. "Installation and test results of the vibrating wire rock-bolt dynamometers used at the Crow's Nest Pass Coal Company, Michel, B.C."; FMP 64/33-MRL.

2. Coates, D.F., Dwarkin, L.M. "Rock bolt trials at Michel, The Crow's Nest Pass Coal Company Limited"; FMP 64/66-MRL.

3. Coates, D.F., Dwarkin, L.M. "Roof butting effectiveness at Michel"; CIM Bull Vol 60; No 659; Mar 1967.

4. van Heerden, W.L. "Laboratory roof bolt studies"; FMP 66/162-MRL.

5. St. Louis, A.V. "A new approach in roof bolt design"; MRC IR 68/14-ID.

6. Ground Control Research Group. "Tentative design specification for roof bolting as temporary support"; MRC IR 68/56-LD.

7. Ground Control Research Group. "Rock bolting developments from research in various mines"; MRC IR 68/111-LD.

8. Coates, D.F., Cochrane, T.S. "Development of design specifications for rock bolting from research in Canadian mines"; MRC IR 69/52-LD (CMJ March 1971; p. 37; R 224.).

9. Gray, W.M. "Assessment of an idea for supporting wet concrete magnetically against the back"; MRC IR 69/85-LD.

10. Coates, D.F., Yu, Y.S. "Rock anchor design mechanics"; MRC IR 70/63-ID.

11. Gyenge, M., Coates, D.F. "Model testing on the support mechanism of thin linings"; MRC IR 72/23.

12. Zahary, G., Unrug, K. "Reinforced concrete as a shaft lining"; MRC IR 72/86.

13. Gyenge, M., Coates, D.F. "The support mechanism of sprayed thin lining"; MRC IR 72/106.
(Publ M37-1873. Nov 1973).

14. Yu, Y.S. "A study of stress distribution around a mining opening with roof-truss support system"; MRC IR 72/120.

15. Muir, W.G., Hedley, D.G.F. "Strata reinforcement with cable bolts"; MRC IR 72/126.

16. Coates, D.F., Sage, R. "Rock anchors in mining (A guide for their utilization and installation) TB181"; MRC IR 73/79.

17. Lee, H.H., Hedley, D.G.F. "Long-term monitoring load on roof bolts and cable bolts"; MRC IR 74/119.

18. Gyenge, M. "Preliminary proposal on grouting field experiments"; MRP/MRL 78-80(TR).

19. Hedley, D.G.F. "Technical note: Effect of plate design on rock bolt performance"; MRP/MRL 81-128(TR).

20. Gyenge, M. "Evaluation of support systems: Rock bolting - First interim report"; MRP/MRL 82-1(TR).

21. Gyenge, M. "Parametric study of the variables of support design"; MRP/MRL 83-67(TR).

22. Gyenge, M. "Design aspects of bolting system"; MRP/MRL 83-95(J).

(g) Room-and-Pillar Mining (Elliot Lake

1. Coates, D.F. and Ignatieff, A. "Prediction and measurement of pillar stresses"; FMP 65/174-MRL.

2. Coates, D.F., Grant, F. "Stress measurements at Elliot Lake"; CIM Bull Vol 59, No 649, May 1966.

3. Ground Control Research Group. "Ground movement associated with pillar removal"; MRC IR 70/102-ID.

4. Hedley, D.G.F., Grant, F. "Slope and pillar design for the Elliot Lake uranium mines"; MRC IR 71/95.
(CIM vol 65; pp 121-128; 1972).

5. Hedley, D.G.F., Herget, G., Zorychta, H. "Test proposal for a large span opening at the Quirke I Mine of Rio Algom Mines Limited"; MRC IR 71/97.

6. Coates, D.F., Bielenstein, H.V., Hedley, D.G.F. "A rock mechanics case history of Elliot Lake"; IR 72/53.

7. Hedley, D.G.F. "Survey of factors affecting stope-and-pillar design"; IR 72/77.

8. Coates, D.F. "Variance of pillar stresses at Elliot Lake"; IR 72/82.

9. Hedley, D.G.F. "Roof classification at the New Quirke Mine, Rio Algom Mines Ltd"; IR 72/151.

10. Coates, D.F. "Probability of failure in pillar design"; IR 73/38.

11. Coates, D.G. "Probability of pillar failure at Elliot Lake"; IR 73/83.

12. Hedley,D.G.F. "Effect of geological factors on stope-and-pillar layouts in an Elliot Lake uranium mine"; IR 74/20. (CIM Bulletin; March 1975).

13. Lee, H.H., Zahary, G. "Calculation of room and pillar dimensions for different pillar shapes"; IR 74/53.

14. Zahary, G. "Alternative room-and-pillar mining patterns"; MR 74/136.

15. Hedley, D.G.F. "Options for pillar recovery at the Raocin Mine"; MRP/MRL 77-25.

16. Yu, Y.S., Hedley, D.G.F. "A model for multi-seam mining of the Denison Mine at Elliot Lake, Ont"; MRP/MRL 77-127.

17. Hedley, D.G.F. "Design guidelines for multi-seam mining at Elliot Lake"; MRP/MRL 78-28. (CANMET Report #78-9).

18. Budavari, S. "A study of deep-level mining and ground control methods at the Elliot Lake Uranium Mines". Contract Report, May 1978.

19. Yu, Y.S. "Some clarification for pillar strength formulae developed for the Elliot Lake Mines"; MRP/MRL 79-69(TR).

20. Hedley, D.G.F., Hambley D.F., Morgan, G. "Regional stability in the Elliot Lake Mines, Part 1: The Denison-Quirke boundary"; MRP/MRL 79-71(TR).

21. Hedley, D.G.F., Morgan, G., Hambley, D.F. "Regional stability in the Elliot Lake Mines, Part 2: The Denison-panel boundary"; MRP/MRL 79-93(TR).

22. Hedley, D.G.F., Morgan, G., Hambley, D.F. "Regional stability in the Elliot Lake Mines, Part 3: Pillar recovery at Denison Mine"; MRP/MRL 79-94(TR).

23. Hedley, D.G.F., Muir, W.B., Yu, Y.S. "Regional stability in the Elliot Lake Mines, Part 4 : Pillar removal at the Nordic Mine"; MRP/MRL 80-4(TR).

24. Hambley, D.F., Hedley, D.G.F., Morgan, G.M. "Use of analog and computer models in the Elliot Lake Uranium Mines"; MRP/MRL 80-5(OP).

25. Hedley, D.G.F. "Bibliography of rock mechanics research in the Elliot Lake Mines"; MRP/MRL 80-89(LS).

26. Hedley, D.G.F. "Possible effects of tailings disposal in Quirke Lake on mine stability"; MRP/MRL 81-27(TR).

27. Muir, B., Morgan, G., Hedley, D.G.F. "Evaluation of pillar stability in sill pillar recovery at Quirke Mine"; MRP/MRL 81-125(TR).

28. Hedley, D.G.F., Gangal, M., Morgan, G. "Effect of pillar orientation on stability"; MRP/MRL 83-63(TR).

(h) Cut-and-Fill Including Backfill Testing

1. Barron, K., Cross, H.E. "A photoelastic model investigation of stresses around cut and fill stopes, based on the McIntyre Mine configuration"; FMP 64/25-MRL.

2. Yu, Y.S. "Notes on hydraulic backfilling"; FMP 66/163-MRL.

3. Coates, D.F., Yu, Y.S. "Analysis of grading effects on hydraulic and consolidated fill"; MRC IR 67/54.

4. Romaniuk, A.S. "Backfill for underground mining operations, Part I. Backfill techniques used outside Canada"; MRC IR 67/2.

5. Coates, D.F., Yu, Y. "Tentative specifications - test for percolation rate or coefficient of permeability of fill"; MRC IR 67/15. (TB 101, April 1968).

6. Zahary, G. "A proposal for field research on backfill"; MRC IR 68/102-ID.

7. Coates, D.F., Yu, Y.S. "Analysis of grading effects on hydraulic and consolidated fill"; MRC IR 68/106-LD.

8. Zahary, G. "Effect of backfill on a stope wall"; MRC IR 69/45-ID.

9. Zahary, G. "Fill research - progress report no 1"; MRC IR 70/13-ID.

10. Gyenge, M. "Optimization study of hydraulic fill system"; MRC IR 70/19-ID.

11. Gyenge, M., Coates, D.F. "Mine fill system design based on optimization"; MRC IR 70/26-LD.

12. Coates, D.F., Emery, J.R. "Introduction to a session on cemented backfill"; MRC IR 70/47-ID.

13. Zahary, G. "Results - fill pressure measurements in a cut-and-fill stope"; MRC IR 72/119.

14. Waterfield, M.C. "A review of fill mining practice"; MRC IR 73/95.

15. Zahary, G. "First progress report - subcommittee on fill"; MRC IR 73/140.

16. Khomychov, V.I., Zahary, G. "Laboratory study of stabilized mine fill"; MRC IR 74/106.

17. de Korompay, V. "Review of hydraulic transportation system for mine backfill"; MRC IR 74/118.

18. Thomas, E.G. "A proposed fill research program for the Canadian mining industry"; MRP/MRL 75-38.

19. de Korompay, V. "Determination of the in situ seepage velocity of deposited backfill by the electrical resistivity method"; MRP/MRL 75-61(TR).

20. de Korompay, V. "Determination of the Hazen-Williams roughness coefficient for slurry transportation boreholes"; MRP/MRL 75-91.

21. de Korompay, V. "Determination of the in situ permeability of Falconbridge Mines hydraulic backfill"; MRP/MRL 76-77.

22. Just, G.D. "One-dimensional compression testing of granular material"; MRP/MRL 76-112(TR).

23. de Korompay, V. "Tube permeater to measure the in situ permeability of deposited hydraulic backfills & waste materials"; MRP/MRL 77-3.

24. Herget, G., de Korompay, V. "In situ drainage properties of hydraulic backfill"; MRP/MRL 78-3(OP). (Publication CIMM).

25. Herget, G. "Strata control with backfill"; MRP/MRL 81-78(TR).

26. Shama, R., Chodola, G., Herget, G. "Pressure monitoring of mine backfill"; MRP/MRL 81-103(TR).

27. Gangal, M.K. "A numerical model for predicting the free standing height of backfill"; MRP/MRL 81-129(TR).

28. Swan, G. "Compressibility characteristics of a cemented rockfill"; MRP/MRL 83-60(OP,J).

29. Swan, G., Vaillancourt, G. "In situ backfill testing with a borehole dilatometer"; MRP/MRL 83-64(TR).

30. Swan, G. "Laboratory testing of Les Mines Selbai rock and fill"; MRP/MRL 83-88(TR).

31. Hedley, D.G.F. "Utilization of backfill support in longitudinal cut-and-fill mining"; MRP/MRL 84-76(TR).

32. Swan, G. "A new approach to cemented backfill design"; MRP/MRL 84-73(J).

(i) Bulk Mining (Sudbury, Algoma, Kidd Creek

1. Coates, D.F. and Grant, F. "Rock mechanics investigation 1963/64 at McLeod Mine, Algoma Ore Properties Division, Algoma Steel Corporation; FMP 65/36-MRL.

2. Zahary, G., Coates, D.F. "Rock mechanics investigation 1964-65 at MacLeod Mine, Algoma Ore Properties, Wawa, Ontario"; FMP 66/117-MRL.

3. Hedley, D.G.F. "A atudy of pillar deformation at MacLeod Mine, Algoma Ore Division"; MRC IR 68/30-ID.

4. Hedley, D., Zahary, G., Soderlund, H.W., Coates, D.F. "Underground measurements in a steeply dipping orebody"; MRC IR 68/100-LD (Pub in proc of 5th Canadian Rock Mechanics Symposium, Toronto; pp 105-125; December 1968).

5. Just, G.D. "Rock fragmentation and mining system design: Field data measurement and evaluation"; MRP/MRL 76-89.

6. Just, G.D. "Fragmented rock - physical characteristics and mining design"; MRP/MRL 76-110(TR).

7. Herget, G. "Guidelines for mining at a depth below 1000 m, a research proposal"; MRP/MRL 78-87(TR).

8. Hedley, D.G.F., Herget, G., Miles, P., Yu, Y.S. "Case history of CANMET's rock mechanics research at the Kidd Creek Mine"; MRP/MRL 79-47(R). (CANMET REPORT No 79-11)

9. Yu, Y.S. "Preliminary assessment of three bulk mining sequences of mining at depth - an elastic stress analysis"; MRP/MRL 80-36(TR).

10. Herget, G., Gyenge, M., Hedley, D.G., Larocque, G., Aliner, P., Yu, Y. "Modelling of 830 O/B Copper Cliff South project plan"; MRP/MRL 81-58(TR).

11. Yu, Y.S., Toews, N.A., Larocque, G.E., Hedley, D.G.F., Oliver, P., Herget, G. "Modelling of 830 orebody of Copper Cliff South Mine, INCO: Part 1 - A preliminary assessment using MINTAB"; MRP/MRL 81-100(TR).

12. Yu, Y.S., Toews, N.A. "Modelling of 830 orebody of Copper Cliff South Mines, INCO: Part 2 - A backfill trial"; MRP/MRL 81-117(TR).

13. Herget, G., Oliver, P., Gyenge, M., Yu, Y.S. "Strength of a mine pillar at Copper Cliff South Mine"; MRP/MRL 83-47(TR).

14. Mine-Met Consultants. "A feasibility study of new mining concepts at depth in Canadian base metal mines"; Contract Report March 1979.

15. Falconbridge Ltd. "Design of a bulk mining trial"; Contract Report Nov 1980.

16. Golder Associates. "Prediction of stable excavation spans for mining at depths below 1000 m in hardrock mines"; Contract Report, April 1981.

17. INCO Ltd. "Underground bulk mining blast design and blast vibration monitoring"; Oct 1981.

18. Falconbridge Ltd. "Stability and support in deep mines"; Contract Progress Report, March 1983.

(j) Rockbursts and Seismicity

1. Cochrane, T.S., Carter, O.F. and Barron, K. "Studies of ground behaviour in a metal mine"; Int Strata Control Conf; New York; May 1964.

2. Parsons, R.C. "Influence of geological structure on burst areas in the Director Mine, Newfoundland Fluorspar Co Ltd St Lawrence, Nfld"; FMP 64/154-MRL.

3. Parsons, R.C. "Factors influencing bursting in the Director Mine, Newfoundland Fluorspar Co Ltd"; FMP 65/17-MRL.

4. Cochrane, T.S. "Preliminary investigations into rockburst conditions at Director Mine, Newfoundland Fluorspar Limited"; FMP 65/69-MRL.

5. Zawadski, W., St. Onge,J. "Field investigation at Director Mine, St Lawrence, Newfoundland, February 4 to March 25, 1966"; FMP 66/188-MRL.

6. Cochrane, T.S. "Results of rockburst investigations at Director Mine, St Lawrence, Newfoundland, February-March 1966"; MRC IR 67/7.

7. Coates, D.F., Dickhout, M. "Ground control in deep mining"; MRC IR 70/27-LD.

8. Zawadski, Wm. "Field study on the Robbins R41 raise boring machine at Director Mine, St Lawrence, Newfoundland"; MRC IR 70/88-ID.

9. Zahary, G. "Stresses in rock subject to bursting"; MRC IR 73/115.

10. Larocque, G. "Review of rockburst phenomena"; MRP/MRL 80-94(OP).

11. MacDonald, P. "Microseismic monitoring at New Quirke Mine"; MRP/MRL 83-14(TR).

12. MacDonald, P., Muppalaneni, S.N. "Microseismic monitoring in a uranium mine"; MRP/MRL 83-74(OP,J).

13. Hedley, D.G.F., Whitton, N. "Performance of bolting systems subject to rock bursts"; MRP/MRL 83-75(TR).

14. MacDonald, P. "Evaluation of a high frequency microseismic rock failure warning system in hardrock mines"; MRP/MRL 84-13(TR).

15. Hedley, D.G.F., Roxburgh, J.W., Muppalaneni, S.N. "A case history of rockbursts at Elliot Lake"; MRP/MRL 84-16(OP,J).
(for pres & pub at the 2nd International Conf on Stability in Underground Mining, Lexington, Kentucky, August 1984).

16. Udd, J.E. "A proposal for a major research project on rockbursts"; MRP/MRL 84-84(TR).

(k) Texbooks and State-of-the-Art Reviews

1. Coates, D.F. "Rock mechanics principles"; Mines Branch Monograph 874; 1965; Revised 1981.

2. Coates, D.F. "Pillar loading, Part 1: Literature survey and new hypothesis"; Mines Branch Research Report R168; Oct 1965.

3. Coates, D.F. "Pillar loading, Part 2: Model studies"; Mines Branch Research Report R170; Dec 1965.

4. Coates, D.F. "Pillar loading, Part 3: Field measurements"; Mines Branch Research Report R180; 1966.

5. Coates, D.F. "Pillar loading, Part 4: Inclined workings"; Mines Branch Research Report, R193; 1966.

6. Gray, W.M. "Definitions of terms used in rock mechanics: Fundamental mechanics"; MRC IR 71-20, 1971.

7. Hedley, D.G.F. and Herget, G. "Rock mechanics and ground control"; United Nations Inter-Regional Seminar on Advanced Mining Technology, Ottawa, May 1973.

8. Coates, D.F. and Gyenge, M. "Incremental design in rock mechanics"; Mines Branch Monograph 880; July 1973.

9. Yu, Y.S. "Some solutions to problems in rock mechanics principles"; Mines Branch Monograph 874; 3rd Edition (1970); MRC IR 73-112.

10. Zahary, G. "Notes on rock mechanics and mine planning"; MRC IR 74-55.

11. Hedley, D.G.F. and Wilson, J. "Rock mechanics applications in Canadian mines"; CIM Bull, Vol 68, No 763; Nov 1975.

12. Hedley, D.G.F. "Underground mining methods in Canada"; World Mining Congress, Dusseldorf; June 1976.

13. Hedley, D.G.F. "A profile of Canadian base metal mines in the 1970's"; CANMET Report 78-28.

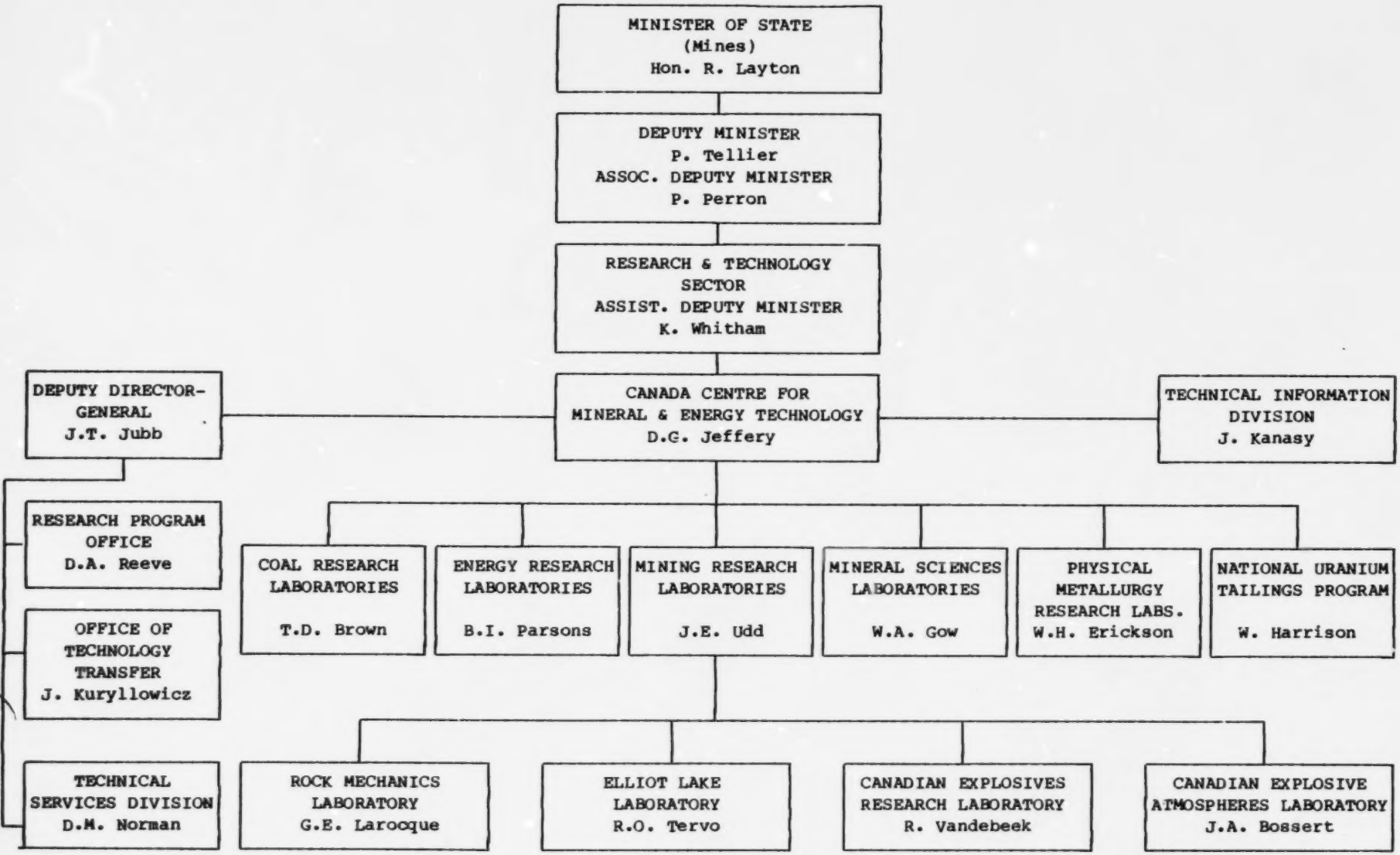
14. Singh, K.H. and Hedley, D.G.F. "Review of mining technology in Canada"; Conf Applic of Rock Mech to Cut-and-Fill Mining, Lulea, Sweden; June 1980.

15. Hedley, D.G.F., Larocque, G.E. and Cochrane, T.S. "Brief to the joint federal-provincial inquiry commission into safety in mines and milling plans in Ontario"; MRP/MRL 80-106.

ANNEXE B

ORGANIGRAMME

ORGANIZATION CHART - ORGANIGRAMME



ANNEXE C

RESSOURCES ET PROJETS DES LRM

DISTRIBUTION OF RESOURCES
MINING RESEARCH LABORATORIES
1984 - 1985

PERSON YEARS (by Laboratory)	HQ	RML	CEAL	CERL	ELL	TOTAL
Professional	2	18	7	7	14	48
Technical	0	3	5	8	8	24
Admin. Support	4	1	1	1	4	11
	6	22	13	16	26	83
PERSON YEARS (by Activity)						
Explosives	0	0	0	13	0	13
Minerals	2	10	3	0	26	41
Energy	4	12	10	3	0	29
	6	22	13	16	26	83
BUDGET ($K)						
Explosives AOM	0	0	0	53	0	53
Capital	0	0	0	33	0	33
Minerals AOM	73	35	33	0	183	324
Capital	9	10	10	0	327	356
Energy AOM	117	82	98	20	0	319
Capital	33	70	71	72	0	214
		Operating Budget for 1984/85				1299
Construction Cost of New Elliot Lake Laboratory Building in 1984/85						3230
						4529

MINING RESEARCH LABORATORIES - PROJECTS

Project No.	Project Title
220100	EXPLOSIVES TECHNOLOGY
220101	Certification & Technical Advice
220102	Explosives R&D
310100	MINING METHODS AND EQUIPMENT
310101	Equipment Development Technology
310102	Interaction of Equipment and Mine Design
310103	Canadian Mining Technology Coordination
310104	Potash Mining
310200	ROCK MECHANICS
310201	Model Development
310202	Mine & Regional Stability
310204	Rock Properties & Support Systems
32100	MINE ENVIRONMENT
210101	Diesel Emission Impact & Control
320102	Radiation
320103	Respirable Dust
320104	Noise & Vibration
320105	Environmental Monitoring & Control (CEAL)
350100	TAILINGS MANAGEMENT
350101	Tailings Management to Minimize Environmental Impact
430100	COAL RESERVES ASSESSMENT
430101	Coal Reserves Assessment (MRL)
430400	COAL MINE HEALTH AND SAFETY R&D
430401	Coal Mine Health & Safety R&D
430450 ERD	COAL MINE HEALTH AND SAFETY R&D
430451	Coal Mine Health & Safety R&D (ERD)
430500	COAL MINE SAFETY CERTIFICATION
430501	Equipment Safety Certification
440100	URANIUM RESERVE AND ASSESSMENT
440101	Uranium Reserves & Production
440200	URANIUM MINE EVALUATION
440201	Mine Operations Evaluation
440300	NUCLEAR WASTE DISPOSAL
440301	Underground Nuclear Waste Repository
390400	MANAGEMENT AND ADMIN. SUPPORT (MINERAL)
390401	Management & Admin. Support
460400	MANAGEMENT AND ADMIN SUPPORT (ENERGY)
460401	Management & Admin. Support

ANNEXE D

(TITRE)

Energy, Mines and Resources Canada | Energie, Mines et Ressources Canada

CANMET

Canada Centre for Mineral and Energy Technology | Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie

APPENDIX D
A PROPOSAL FOR A MAJOR RESEARCH PROJECT ON ROCKBURSTS

John E. Udd

MINING RESEARCH LABORATORIES

December 1984

MINERAL RESEARCH PROGRAM
MINING RESEARCH LABORATORIES
DIVISION REPORT MRP/MRL 84-84 (TR)

A PROPOSAL FOR A MAJOR RESEARCH PROJECT ON ROCKBURSTS

by

John E. Udd*

ABSTRACT

Rockbursts, such as occur in the Canadian pre-Cambrian Shield, are attributed to stress redistributions which accompany mining in hard rock formations. Microseismic activity, which accompanies the stress increase preceding rockbursts, is viewed as having the potential to locate areas in which rockbursts may occur and, perhaps, to provide a means of short-term prediction prior to occurrence.

Although microseismic systems have been used experimentally in mines for many years, marginal advances in methodology and equipment development have limited their use. This is attributed in part to mine utilization philosophy, staff turnover, and the limited market for equipment which could be developed.

Source location is the objective of the existing, or planned, ten Canadian microseismic systems. The research on rockbursts which is proposed would involve investigation, development and testing of equipment and methodologies directed at improving the location of microseismic build-up, identifying the mechanisms of energy release, and, in some cases, warning of impending rockbursts.

The first phase of the proposed research would consist of three elements: studies at two Sudbury mines using extensive conventional state-of-the-art microseismic systems; studies with an advanced prototype system permitting detailed seismic event analysis at an important Ontario mine; and local area mine monitoring trials at several other small mines with a basic microseismic system.

---

* Director, Mining Research Laboratories, Canada Centre for Mineral and Energy Technology, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, Ontario.

This proposed research on microseismic systems would be carried out over a five year period. Details on the proposal are provided in the text with respect to technical approach, research plan, specific objectives, benefits, cost, schedule and management structure. The total cost of the first phase, is estimated at $4,200,000.00.

The second phase of the work would involve trials to determine the effects of bulk mining methods, with various forms of backfill support, on local and regional stability conditions.

The cost of this second phase, involving bulk mining trials with associated microseismic monitoring, is estimated at $2,000,000. This phase would either follow the first, or would be commenced in the fourth or fifth year of it; depending on the development and availability of suitable monitoring systems.

The overall objectives of the proposed project are the following:

1. To improve the interpretation of microseismic signals, and the accuracies of determining microseismic source locations.
2. To improve evaluations of the effects of mining methods on local and regional stability conditions.
3. To develop leading-edge scientific capabilities in Canada, and to foster the spread of that technology throughout the industry.

PROPOSITION D'UN PROJET PRINCIPAL DE RECHERCHE SUR LES COUPS DE TOIT

par

John E. Udd*

RÉSUMÉ

Les coups de toit tels qu'ils se produisent dans le Bouclier précambrien canadien, sont causés par la redistribution des contraintes associées à l'exploitation minière des formations de roche dure. L'activité microsismique qui accompagne une augmentation des contraintes avant les coups de toit, est perçue comme un moyen possible de repérer les zones où des coups de toit pourraient se produire et peut être même de les signaler à l'avance dans un court délai.

Bien que les systèmes microsismiques aient été utilisés expérimentalement dans les mines depuis de nombreuses années, le peu de progrès dans le développement de l'équipement et de la méthodologie a limité l'utilisation de ces systèmes. Ceci est causé d'une part par la philosophie derrière l'exploitation minière, les changements de personnel et le marché restreint pour l'équipement qui pourrait être développé.

L'objectif fixé pour les dix systèmes microsismiques canadiens actuels ou projetés, est de localiser la source de l'activité microsismique. La recherche proposée sur les coups de toit porterait sur l'investigation, le développement et les essais d'équipement et de méthodologies dans le but d'améliorer le repérage d'une augmentation de l'activité microsismique, d'identifier les mécanismes des flux énergétiques et, dans certains cas, d'avertir de l'imminence des coups de toit.

La première phase du projet de recherche proposée comprendrait trois éléments soit: faire des études dans deux mines de Sudbury à l'aide d'importants systèmes microsismiques de pointe de modèle standard;

---

*Directeur, Laboratoires de recherche minière, Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie, Énergie, Mines et Ressources Canada, Ottawa (Ontario).

faire des études à l'aide d'un prototype perfectionné d'un système de monitorage, permettant de faire une analyse détaillée des secousses sismiques dans une mine importante de l'Ontario; et enfin, de faire des essais locaux de surveillance de zone dans plusieurs autres petites mines, à l'aide d'un système microsismique de base.

La recherche proposée sur les systèmes de monitorage s'effectuerait sur une période de 5 ans. Les détails de la proposition seront fournis dans le rapport en ce qui concerne l'approche technique, le plan de recherche, les objectifs spécifiques, les avantages, le coût, la structure de l'horaire des travaux et de la gestion. Le coût global de la première phase des travaux est estimé à 4 200 000 $.

La deuxième phase des travaux comprendrait des essais dont le but serait de déterminer quels effets l'exploitation minière en vrac, avec des méthodes variées de remblayage, auraient sur les conditions de stabilité locale et régionale.

Le coût de la deuxième phase, comprenant les essais sur l'exploitation minière en vrac avec surveillance de l'activité microsismique, est estimé à 2 000 000 $. Cette deuxième phase du projet suivra soit la première phase ou bien sera commencé dans la quatrième ou cinquième année de cette dernière; le tout sujet au développement et à la disponibilité des systèmes de monitorage appropriés.

Les objectifs globaux du projet de recherche proposé sont les suivants:

1. améliorer l'interprétation des signaux microsismiques et la justesse avec laquelle on détermine la source des secousses microsismiques
2. améliorer l'évaluation des effets qu'ont les méthodes d'exploitation minière sur les conditions de stabilité locale et régionale.
3. développer des méthodes scientifiques de pointe au Canada et encourager la diffusion de cette technologie à travers l'industrie minière.

CONTENTS

	Page
ABSTRACT	i
BACKGROUND	1
The Significance of the problem	1
Status of Current Technology	2
TECHNICAL APPROACH	5
RESEARCH OBJECTIVES	6
ANTICIPATED BENEFITS	7
RESEARCH PLAN	7
Research Design and Milestones	7
Estimated Costs	10
Work Plan Phase 2	13
Work Plan Year 1	13
Work Plan Year 2	13
Work Plan Years 3 and 4	14
Work Plan Year 5	14
Continuation Plan: Subsequent Years	14
Liaison with Other Organizations	15
Technology Transfer	15
CO-ORDINATION AND DIRECTION	16
APPENDIX A	17
APPENDIX B	18

BACKGROUND

THE SIGNIFICANCE OF THE PROBLEM

A rockburst is a sudden, violent release of energy. It is a natural consequence of loading a hard, brittle, elastic material to the point of failure. Over the last two years, fourteen mines in Canada have experienced rockbursts.

A recent, and very tragic, event occurred in Canada at Falconbridge Limited's Falconbridge Mine (No. 5 Shaft), on June 20, 1984. In that instance a very severe rockburst caused the failure of the back (roof) of an undercut-and-fill stope. The resulting collapse of fill killed four miners. The long-lasting effects were the closure of the mine and the subsequent disruption to the work of some 400 men.

A further series of major seismic events, the largest of which attained a magnitude of 4.0 on the Richter scale, took place at Inco's Creighton Mine on July 6. Fortunately, a summer vacation shutdown was in effect at the time and no injury resulted from the damaged rock underground.

More recently, commencing on December 17, a series of rockbursts occurred in a burst-prone area of the Quirke Mine, in Elliot Lake. During the first two days of the renewed activity over 400 seismic events were detected. The largest of these attained a magnitude of 3.5 on the Richter scale. As happened on previous occasions, mechanics working in the area of the Denison number 1 shaft, some 500 meters away, expressed reservations about returning to work.

Because the effects of rockbursts can be devastating in both human and economic terms it is imperative that we use all of the means at our disposal to reduce the possibilities of the tragedies, injuries, and major dislocations that would be caused by other occurrences.

Fortunately, from a scientific point of view there is some promise that a solution can be found. In particular, the accurate determinations of locations of sources of microseismic occurrences may provide the key to both the locations of highly-stressed areas and the possibility of short-term prediction of events. Detailed analysis of wave forms may provide clues to the causes and mechanisms of rockbursts.

Microseismic emissions, which are usually in the ultra-sonic frequency range result from the propagation of cracks in brittle materials.

There is considerable evidence that the frequency of such microcracking increases as the level of applied stress is changed. Thus, the number of events may provide some measure of the level of stress which is applied.

In the laboratory, even when the samples of rock are very small, the cracking and the sudden explosion of a test sample can be impressive. In mines, the release of energy and cracking are on scales which are orders of magnitudes greater. For anyone who has experienced loud cracking or rockbursts underground, the effects are awesome.

STATUS OF CURRENT TECHNOLOGY

Unfortunately, very few advances have been made in application of microseismic technology to rockburst predictions. At present, after 40 years of equipment development and refining of techniques, there is still a large element of uncertainty in the handling of field data.

However, the reasons for this become more apparent. First, the scale of underground operations may be very large, thus necessitating major instrumentation programs with corresponding higher costs. Many companies, because of this, choose "target areas" for instrumenting - and in so doing, accept the risk that events may be outside of the sensor array. Such was the case with some of the recent rockbursts in Sudbury.

Second, in mining it is very common for individuals to progress rapidly through the managerial and technical ranks. Because of this, the experience gained by a skilled worker is easily lost through relocation or career progression. From a national point of view it is lamentable that there is a lack of microseismic specialists in mining. This situation is not likely to be rectified until specialists with the expertise have been developed and provided with the incentives to remain in the field.

Third, because experience in Canada has not been translated into a clearly applicable technology, microseismic equipment development has not paralleled equipment development in other fields. The market for microseismic equipment is very limited and there has been little financial incentive for manufacturers undertaking the essential technological developments in microelectronics or data processing.

Since field work began in the 1940's, a methodology based on geophysical techniques has been used. Geophones, arranged in a three-

dimensional array to surround possible events, are used to detect signals. Because underground mines are often extensive, it can be appreciated that an array of any significant size can require miles of wiring. The times at which an event is detected at several geophones are used to calculate the original position of the disturbance.

In current practice the arrival of a first signal at any geophone in an array "opens a time window" for calculation purposes. The arrival of other pulses at a number of other geophones within prescribed time limits (as an example: at 5 geophones within about 50 milliseconds, or 1/20 second) is taken as confirming that a real event has happened within the volume enclosed by the array. The time interval selected is usually that which would be required for a sonic wave to pass through an array diagonally (i.e., the greatest distance between geophones). Having satisfied the criteria that an event is valid, the location is calculated from the arrival times. The use of arrival times at all of the geophones at which an event was detected, in various combinations, provides redundancy which is useful in assessing accuracy. After calculations, the original data is "dumped". This precludes any further analysis.

Unfortunately, geophones are indiscriminate. All sources of noise in a mine, therefore, may trigger the calculation sequence. Routine blasting, equipment operating, normal drilling, and even conversations may be detected by geophones. A large element of judgement is required in the selection of a "threshold value" below which events will not be recorded. No matter what level is selected, there will probably be legitimate events which will not be recorded.

At present, some 10 microseismic systems, with varying degrees of sophistication have been, or are being, installed in the following Canadian mines:

1.	Inco, Creighton Mine	64 sensors
2.	Falconbridge Mine	16 sensors
3.	Campbell Red Lake Mine	48 sensors
4.	Rio Algom, Quirke No. 2 Mine	24 sensors
5.	Potash Corp., Cory Mine	32 sensors
6.	Denison Mine	8 sensors
7.	East Malartic Mine	16 sensors (now removed)
8.	Rio Algom, Stanleigh Mine	16 sensors (planned)

9. Lockerby Mine, Falconbridge Ltd. 32 sensors (planned)
10. Brunswick, Noranda 32 sensors (planned)

All mine operators planning to install and use microseismic systems, however, are faced with essentially the same difficulties and problems. These were described as follows in a CANMET-sponsored workshop for industrial workers which was held in Sudbury, Ontario, on August 14-15, 1984 (note, a list of participants is attached as Appendix "A"):

1. There is a need for an approach, and system, which can be used to assess the influences of mining methods and practices. At present, microseismic monitoring is considered the best approach to large-scale or mine-wide monitoring (as opposed to local small-scale monitoring, which is used in conjunction with assessing the stabilities of individual stopes, or work places).
2. A difficulty with this approach is that microseismic activity begins to occur in hard and brittle rocks only when stresses have increased to the point at which failure begins to occur. Because the margin between the onset of seismic activity and a rockburst may be very narrow, the accuracies and sensitivities of systems are of great concern.
3. In the interest of improving the accuracy in both locating the sources (of events) and determining the energies involved, practitioners are looking for both improved equipment and practical techniques. The evaluations of equipment on a comparative basis (which has not yet been done, for cost reasons) might result in significant technical advances.
4. Equipment manufacturers should be encouraged to accelerate the development of "state-of-the-art" technology. This is difficult at present since the market is small.
5. Because of technical difficulties, the predictability of events is not feasible at present. While the locations of burst-prone areas can be established, warnings can not be provided of the timing of probable events. Predictability in both time and space, however, must remain as a long-term goal.

TECHNICAL APPROACH

At present, the systems installed in Canadian mines involve a number of geophones and a processor. Analysis of data is based upon the time of first arrival of a seismic wave at each detector in the array. In general, the very first arrival of an event above a preset threshold value causes a "time window" to be opened. If a sufficient number of arrivals is detected by other geophones within the limits of the "time window" is is assumed that an event has occurred, and calculations are effected. A rapid series of events, however, such as those that occurred at Inco Metal's Creighton Mine on July 6, 1984, can be lost for purposes of recording and calculations. Because the system may be saturated with data, subsequent events may not be detected.

Historically, present systems have been developed from those which were used by mining engineers for detecting and locating single events. The development of equipment which can be used more successfully vis-a-vis multiple events is a matter of high priority.

With present systems only the channel numbers and the times of first arrivals are recorded. Significant improvements in accuracy, as regards event detection and source location, could be effected through waveform analyses. At present, any source which produces a noise above the threshold level (such as blasting, equipment operating, drilling) can cause a microseismic system to be activated.

The analysis of waveforms is considered to be the best approach to achieving differentiation between the causes of waves. If successful this would lead to considerable purification of data. This is also the only avenue of approach which would permit an assessment of source mechanisms for events. If successful in this respect, the resulting improvements in the sensitivities of systems would lead to a much greater understanding of the effects of mining on the surrounding rock mass. Fortunately, even though the approach recommended is more involved, microprocessing hardware is available which can be used to effect a very high degree of automation.

Also at present, it is common for the processing unit to be located underground, and the printer on the surface. Because of this the analogue signals are lost for purposes of further analysis.

In the present approach, then, it is proposed that the processing units be located on surface. While the primary function of the monitoring

systems will not be compromised, it will then be possible to do much more in the way of further analyses of signals. Analogue-to-digital conversions will be achieved by multi-channel interfaces on microcomputers. Filtering of extraneous interferences, alternative source location techniques, development of generalized event signatures, and the determination of the energies of various source mechanisms, are examples of further analyses that would be attempted. Sophisticated computer systems for signal and data analysis will be required.

As analytical techniques are developed at one or more central facilities, these will be implemented at the dedicated computer systems and the mines. The scheme will enable continual updating of monitoring techniques in the industry.

RESEARCH OBJECTIVES

The specific objectives of this proposed research project are the following:

1. To improve safety in underground mines.
2. To move closer towards the identification of areas or zones within mines in which seismic events (or rockbursts) are likely to occur.
3. To develop improved equipment and analytical techniques.
4. To increase an awareness in the industry of the effects of mining practices and sequences upon stabilities of the surrounding rock mass. This is particularly relevant to the newer large-scale bulk mining methods.
5. To increase Canadian capabilities in microseismic monitoring, and to develop a "National Centre of Excellence", in this respect, within the Mining Research Laboratories.

The achievement of these objectives will involve research:

6. To examine the waveforms of the signals resulting from a number of different, and known, events; with a view towards the recognition of characteristic event signatures.
7. To compare the signals originating in two distinctly different mining operations, with a view towards obtaining a better understanding of source mechanisms and of the differences (if any) between the resulting signals.

8. To develop methods by which extraneous signals may be removed from recorded data.
9. To effect improvements in the accuracy of determining the locations of events, and the energies released. The first questions asked by an operator after a seismic event are inevitably: "Where was it?", "How big was it?"

ANTICIPATED BENEFITS

If successful, this proposed research project will have the following potential benefits:

1. Result in increases in the sensitivities of microseismic monitoring systems, thus leading to a greater understanding of the effects of mining (and particularly those of large-scale bulk mining methods).
2. Through waveform analyses, result in improved accuracy in locating seismic events and the calculation of the energies involved.
3. Result in techniques by which the many interferences at present may be removed from the records and separated from the seismic data.
4. Result in a much greater understanding of the basic mechanisms and of the causes of rockbursts.
5. Lead towards the development of both improved equipment and techniques.
6. Represent a significant step forward towards the ultimate goal of being able to identify not only the areas in which rockbursts are likely to occur, but also, in as many cases as possible, to provide warnings.
7. Result in the development of Canadian expertise in microseismic monitoring and rockburst detection.

RESEARCH PLAN

RESEARCH DESIGN AND MILESTONES

The research program is comprised of three elements. These are:

(1) Detailed monitoring at two mines in Sudbury, Ontario.

(2) Evaluation of microseismic systems that are more sophisticated than those in Canada at present.

(3) Local monitoring trials in other mines.

(1) In the first of the elements it is proposed that both of the systems presently installed in mines in the Sudbury basin should be improved to reflect the best of "state-of-the-art" technology. In both cases the processing units are presently underground, and should be relocated on surface to permit the more sophisticated processing of data which are gathered. Computer systems, for on-site analyses of data, are also required,as are adequate on-line storage capabilities in order to prevent "buffer overloading" of the systems during a major event.

It is a particularly noteworthy feature of this element of the work that one of the systems to be upgraded is located in a mine which was recently closed after a series of major rockbursts. The second is located in what is probably the country's "flagship" nickel-copper mine.

At first glance, the above approach may seem to involve needless duplication. The scientific reasons, however, are compelling. These are:

1. The mechanisms causing rockbursts in each of the mines are believed to be different. In the case of the recently closed Falconbridge Mine, it is believed that slippage along faults was the basic mechanism. In the case of Inco's Creighton Mine, which also experienced severe bursting recently, it is believed that seismic activity was due to the breaking of rock during the propagation of a caving zone and the crushing of pillars.
2. In the case of the work proposed for the Falconbridge Mine, it should also be expected that results of a unique nature will be obtained. The mine, even though closed, will remain accessible as a route for the transportation of ore underground from the East Mine for possibly two years.

   In this instance, the work represents an unparalleled opportunity to obtain "pure" microseismic data against a background of no mining noise. Hopefully, any signals obtained will permit very precise analyses of the signature waveforms resulting from the fault-slip mechanism.

The milestones which would reflect progress in (1) would be:

1. The completion of the upgrading of both systems.
2. The obtaining of recognizable signature signals for each of the mechanisms causing rockbursts.

3. The relocation of the system at Falconbridge No.5 Shaft to another mine upon the successful conclusion of (2). (Note: this would be arranged by mutual consent, as maintaining the system of No. 5 Shaft once the basic information sought has been obtained, would serve no useful research purpose.)
4. The development of techniques which could be used to separate extraneous signals from legitimate microseismic data.
5. The demonstration that improved methods of determining locations and calculating the energies involved have been achieved.

(2) In the second of the elements it is proposed that one of the more elaborate seismological systems which is available should be purchased and installed, for the purpose of making comparative evaluations, at Inco's Creighton Mine.

The particular feature of such systems that justifies a purchase is that each channel is equipped with a microprocessor (as opposed to one for an entire system). The net result is that analyses which reflect the highest degree of sophistication may be effected.

It is visualized that the results to be obtained, in waveform identification and the determination of sources, will be of a uniquely high quality.

The milestones, while very similar to those which would result from (1), and in fact, being complementary, would also include:

1. The installation and calibration of the seismological system.
2. The obtaining of recognizable waveform signatures which could be related to various events (including those caused by mining activities such as drilling and blasting).
3. The development of techniques for the "purification" of microseismic data.
4. Demonstrations that the techniques are resulting in improved accuracy.
5. The resulting up-grading at other operating Canadian mines.

(3) In the third element, a conventional microseismic monitoring system would be purchased and installed at mining operations, other than the two mentioned, for periods of up to two and a half years per installation.

Rockburst phenomena have also been experienced at several of the hardrock mines outside of the Sudbury area. Many of the companies involved do

not have microseismic systems because of both the costs and the specialized skills that are required. The objectives of this part of the work would be not only to assist other operations in the evaluation of the effects of local mining practices but also to gather additional field results which would add to the breadth of the overall study.

Initially, research would be concentrated on the problem of rockbursts in crown pillars of steeply-dipping narrow vein deposits (e.g., Campbell Red Lake, Dickenson, Macassa). This is the most common type of rockburst in Ontario. The research team would also investigate why rockbursts are rare in similar mines in the Timmins area.

The milestones which reflect progress would be individual reports in which the results of local studies would be given. These should appear at the rate of a least one per year.

ESTIMATED COSTS

The cost estimates which are given are based on the knowledge that a significant part of the expenses would be borne by the operations at which research would be conducted.

It is also certain that assistance would be received through collaboration with the Ministry of Labour of the Province of Ontario, and with other bodies (such as the United States Bureau of Mines).

To illustrate this point, the Ontario Ministry of Labour is also pursuing microseismic monitoring initiatives (for emergency preparedness purposes), and has generously offered to provide occasional use of office facilities, in Sudbury, and technical collaboration.

In the case of the studies in Sudbury, both Inco and Falconbridge have already invested in Electro-Lab Monitoring systems. Including the costs of equipment and installation, Inco has expended in excess of $200,000. Falconbridge, with a much smaller system has probably invested in the range of $100,000.

In the present proposal, it is assumed that the costs of new additional equipment, supplies, and the provision of some technical support, would be provided through federal and provincial contributions. The costs in respect of local installations of geophones and other units, and the provision of technical backup, would be provided by the individual companies participating in the project.

Thus with respect to element 1 the equipment costs are estimated to be:

(i) Upgrading Inco Creighton system

- Cable.....$ 40,000
- Electronics.....$ 25,000
- Computer system for data analysis.....$ 30,000

(ii) - Provision for computer to be used with Falconbridge system.....$ 30,000

- Subsequent expansion of system, up to full 64 channel capability, at another Falconbridge Mine, estimated at.....$100,000

Equipment costs for element 1 **$225,000**

With respect to element 2, the equipment costs are estimated to be:

(i) Seismological system.....$500,000

(ii) Data Processing Equipment and other Electronic Equipment for use with the above unit.....$300,000

Equipment costs for element 2 **$800,000**

With respect to element 3, the equipment costs are expected to be:

(i) Microseismic system with computer, for mine rockburst monitoring.....$ 75,000

(ii) Equipment for two to three installations ($100,000/installation).....$300,000

Equipment costs for element 3 **$375,000**

Total equipment costs **$1,400,000**

These costs are probably accurate to within about ten percent (1984 dollars)

To this, must be added the cost of technical support to be provided by CANMET. It is assumed that the team developed for this particular project would become members of the permanent staff complement - thus achieving the objective of developing a national centre of excellence.

The staff required, and the direct salary costs are estimated as follows:

(i) Seismologist.....$ 50,000/annum

(ii) Ground Control Eng.....$ 40,000/annum

(iii) Electronics Technician.....$ 35,000/annum

(iv) Support Technician, for field and workshop..$ 35,000/annum

(v) Secretarial and administrative support.....$ 20,000/annum

Direct Annual staff costs (excluding benefits) $ 180,000

CANMET staff cost for project $ 900,000

To the above CANMET project expenditure a sum of $40,000 per annum should be made available for travel and accommodation, and a further sum of $50,000 made available to cover the costs of staff hands-on training (in South Africa and in the Coeur d'Alene area of the United States of America).

Total CANMET travel and training and on-site accommodation costs for project.....$ 250,000

A further sum of $250,000 will be required for the replacement, maintenance and operation of portable (including mobile equipment). Audio-visual equipment to be used for technology transfer purposes, and costing approximately $15,000, is included in this estimate ..... $ 250,000

Total costs for staff, (excluding benefits) travel and training..... $1,400,000

During the project, both Inco and Falconbridge would each be expected to provide a full-time technician to the project, at estimated annual costs of $40,000 per company. A further amount, estimated at $1,000,000 would be required from these companies and others in the province, to cover part of the costs of local installations (including local living expenses). These potential contributions remain to be negotiated..... $1,400,000

Thus,

The grand total cost for the entire first phase of the project is estimated at..... $4,200,000

(being $1,400,000 each for: Equipment, staff, travel, training, installations).

The costs which are shown have been developed on the basis that other indirect, but substantial, contributions to the project would be made by the industry. An actual value cannot be assigned to these at present.

WORK PLAN: Phase 2

Finally, as mentioned, it is recommended that the first phase of the work, as described previously, should be followed by a second phase involving studies of the effects on stability of bulk mining methods (with various filling alternatives). From this perspective, some five years in advance, it is not possible to establish a budget for this aspect of the work. Nonetheless, a preliminary rough estimate of $2,000,000 is not considered to be unreasonable.

WORK PLAN: Year 1

During the first year of the project, the equipment for the upgrading of the system at the Creighton Mine would be purchased and installed. At the same time, the Falconbridge system would be improved through the addition of an on-site computer.

By the end of the first year the project team should have been recruited and appointed. Either the seismologist or the ground control engineer should have received foreign hands-on training in the use of systems elsewhere (or should be close to the completion of that training - estimated at 6 months). A visiting scientist should have been appointed to CANMET on a sabattical basis and would be in the process of training and advising local staff.

Because no major modifications, apart from the installation of a computer and the relocation of the processor - from underground to surface - would have been made at the Falconbridge No. 5 Mine, it is expected that the results determined by the end of the first year would very nearly satisfy the original requirements for "pure" signals.

A study of rockbursts in crown pillars, at a mine at which a system is presently installed, would also be initiated as a separate, but related project during the first year.

WORK PLAN: Year 2

By the end of the second year the work at the Falconbridge Mine should have been completed. Afterwards, by mutual agreement, as much of the system as possible could be moved to another mine in the Falconbridge group.

The work at Inco's Creighton Mine would have progressed to the point at which at least some individual signature signals could be identified. The work, in respect of purification of data, should be well advanced.

Simultaneously, the conventional rockburst monitoring system would have been purchased and installed at a specific site.

At the end of the second year, all of the equipment required should have been installed in place and successfully calibrated and made fully operational.

WORK PLAN: Years 3 and 4

During the third and fourth years of the project, the major effort in connection with event recognition would be continued at the Creighton Mine while other case-history studies would be underway at other locations.

Following the establishment of precise specifications, the more sophisticated monitoring system would probably be ordered and installed during the third year.

Monitoring could be continued at the Falconbridge property into which the equipment had been relocated during the second year of the project. At the end of the fourth year of the research it would become clear if further extensions to that system might be required.

WORK PLAN: Year 5

During the final year of the work for this project it is anticipated that the original objective would have been met and that objectives and a plan for on-going studies would be in a stage of development by the project team.

As mentioned previously, it has been suggested that it would be logical for the work to be continued through assessments of the effects of bulk mining methods on local stability conditions. Trials, if not actually underway at this stage (as the result of an agreed-upon acceleration of the work), would at least be at an advanced stage of planning.

With mining at Creighton being likely to continue well into the next century, and with conditions likely to become more difficult at depth, it is probable that the increase in microseismic activity which is anticipated would also result in plans to continue the original work. While it is hoped that a number of the technical problems would have been solved, the aspect of predictability would probably remain as a high-priority key issue.

CONTINUATION PLAN: Subsequent Years

At the end of the five-year period, a well-qualified team with considerable experience in both rockbursts and microseismicity would have been

developed in CANMET/MRL. Because it is certain that rockbursting problems must become more acute as Canadian mining progresses to greater depths and extraction ratios there is no doubt that continuing activity at a high level will be required.

During the next five years it is also likely that increased use will be made of low-cost bulk mining methods in order to effect productivity improvements - which will be necessary to the survival of the industry. The effects of large scale mining on regional stability conditions are not fully known and, consequently, local monitoring will be essential.

With both of the above in mind, then, the steps which have been proposed towards the development of a Canadian expertise will undoubtedly be shown to have been in the national interest.

LIAISON WITH OTHER ORGANIZATIONS

A close technical liaison will be maintained with the Seismology Division, Earth Physics Branch, EMR, which operates the Eastern Canada Seismic Network. Any large rockburst saturates mine microseismic networks, and data acquired through the national seismic network is required for the calculation of magnitude values. It is also visualized that the Earth Physics Branch will be requested to provide analytical assistance.

Close liaison at the working level will be maintained with the Mining Health and Safety Branch of the Ontario Ministry of Labour. That Branch has taken a leading role in advocating the development of monitoring systems in Ontario mines during the past five years, and is involved with rockbursting problems on a daily basis. Their participation is unquestionably "key" to the success of the project.

Regular contacts will be also established with research organizations working on rockbursts in other countries, noteably the Chamber of Mines in South Africa and the United States Bureau of Mines. It is also hoped that it may be possible to conclude a joint USBM/CANMET/MOL agreement for the sharing of research results in both ground control and emergency preparedness measures in the near future. Similar agreements already exist in other areas; notably for wire ropes and for diesel emissions.

TECHNOLOGY TRANSFER

Starting in the 2nd or 3rd year of the project, workshops and seminars will be held in the various mining camps. The latest research

results will be explained to the industry, regulatory agencies and other interested organizations. At the end of the 5th year a manual on rockbursts will be prepared.

CO-ORDINATION AND DIRECTION

During the initial stages, in which the project team would be formed, both co-ordination and direction would be provided by a CANMET/MRL team consisting of:

Dr. D. Hedley, Research Scientist, ELL

Mr. G. Larocque, Manager, RML

Dr. J.E. Udd, Director, MRL

In the very first stages, the work would consist of the ordering and installation of the equipment required. This would be well within the capabilities of the above team.

Additionally, there would be a continuing dialogue with the industrial partners and it might be desirable at an early stage to ask each company participating to provide a representation to sit on an overall steering committee.

With the development of the project team, however, co-ordination of the work would be assumed by this group - which would be situated at the Elliot Lake Laboratory of MRL.

Overall direction would continue to be provided by the original team, to which the professionals working on the project would have been added. Representation would also be sought from other organizations participating in the project, such as: the Ontario Ministry of Labour, INCO, Falconbridge, etc.

APPENDIX "A"

The following is a list of the participants at a CANMET-sponsored workshop "Microseismic Monitoring in Canadian Mines", held in Sudbury, Ontario, on August 14-15, 1984.

Chris Page	Johannesburg, South Africa.
Tony Makuch	Campbell Red Lake Mines, Balmertown, Ontario.
James Willan	McGill University.
Hamish Miller	University of British Columbia, Vancouver.
Dave West	Falconbridge Ltd., Falconbridge, Ontario.
Barbara Welsh	Dickenson Mines, Balmertown.
Ian Clegg	Falconbridge, Ontario.
Ed Berdusco	Algoma Ore Division, Wawa.
Alex Henderson	Lockerby Mine, Falconbridge Ltd.
Jacques Bourbonnais	Roctest Ltd., St. Lambert, P.Q.
John Cook	Lac Minerals, Kirkland Lake, Ont.
Don Bruce	Lac Macassa, Kirland Lake, Ont.
Akbar Sheikh	Denison Mines, Elliot Lake, Ont.
G. Hunt	Denison Mines, Elliot Lake, Ont.
Jim Chandra	Dept. Natural Resources, Fredericton, N.B.
F. Umangay, Jr.	Elliot Lake, Ontario.
P. Oliver	Inco Ltd., Copper Cliff, Ont.
J.A. St. Pierre	Falconbridge Ltd.
H.A. Smith	Falconbridge Ltd.
R.A. Cameron	Laurentian University, Sudbury, Ont.
Frank Ingham	Rio Algom, Elliot Lake, Ont.
Gary Morgan	Rio Algom, Elliot Lake, Ont.
Peter Cain	CANMET/CRL - Cape Breton, Sydney, N.S.
Tom Vladut	CANMET/CRL - Calgary, Alberta.
Charles Graham	Sudbury, Ontario.
Thian Yu	Kidd Creek Mines, Timmins, Ont.
Harald Kanduth	Noranda Research Centre, Pointe Claire, P.Q.
Osman Momoh	Noranda Research Centre, Pointe Claire, P.Q.
Corwin Malott	Electro Lab, Spokane, Washington
Jim Vance	PCS Mining, Saskatoon, Sask.
John Udd	CANMET/MRL, Ottawa, Ontario.
Glen Larocque	CANMET/MRL, Ottawa, Ontario.
Paul MacDonald	CANMET/MRL, Elliot Lake, Ontario.

APPENDIX "B"

Estimated Expenditures by Years

	YEARS				
	1	2	3	4	5
A) Equipment, $1.4 Million (refer to page 11)					
	$300,000 up-grading INCO and Falconbridge systems	$200,000 * purchase of a standard system (*includes $100,000 for local installation)	$700,000 * purchase of precision system	$100,000 costs of local installations	$100,000
B) Human Resources, and equipment maintainance, $1.4 Million (refer to pages 11-12)					
i) Manpower	2 PY	3 PY	5 PY	5 PY	5 PY
	$100,000	$125,000	$225,000	$225,000	$225,000
ii) Travel					
	$40,000	$40,000	$40,000	$40,000	$40,000
iii) Training					
	$25,000	$25,000	---	---	---
iv) Maintenance and contracts for local installations					
	$50,000	$50,000	$50,000	$50,000	$50,000
C) Industrial Contributions to support local installations, $1.4 Million (refer to page 12)					
i) Manpower	2 PY	2 PY	2 PY	2 PY	2 PY
	$80,000	$80,000	$80,000	$80,000	$80,000
ii) Contributions to cost of project (labour, use of systems, materials)					
	$200,000	$200,000	$200,000	$200,000	$200,000